

Calibration et mise en œuvre d'un protocole de suivi aérien des tortues marines en Guadeloupe et à Saint-Martin



Rapport final

Juin 2024

Calibration et mise en œuvre d'un protocole de suivi aérien des tortues marines en Guadeloupe et à Saint-Martin

Rapport Final

Juin 2024

Mots clés : Antilles Françaises, Tortues marines, espèce protégée, survol aérien, suivi de populations

En bibliographie, ce rapport est cité de la façon suivante :

Safi M., Bissery C., Pauwels J., Valin C. - 2024 – Calibration et mise en œuvre d'un protocole de suivi aérien des tortues marines en Guadeloupe et à Saint-Martin. Rapport Final 2024. 42 pages.

© Aquasearch 2024, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du client.

Table des matières

Contexte	4
Calibration du protocole	5
Retour d'expérience du protocole mis en œuvre à la Réunion	5
Identification des moyens techniques disponibles en Guadeloupe et à Saint-Martin	6
Aérodromes recensés en Guadeloupe et à Saint-Martin	6
Liste des aéronefs et prestataires recensés en Guadeloupe et à Saint-Martin	7
Choix des zones tests	9
Établissement des plans de vol	10
Choix de l'aéronefs	12
Évaluation des paramètres influant sur la détectabilité	14
Déploiement de la mise en œuvre opérationnelle du protocole	16
Matériel 16	
1.1 Aéronef utilisé	16
1.2 Matériel embarqué	16
Méthodologie	16
Analyses des données collectées	18
Effort d'échantillonnage	18
Observations des tortues marines	19
2.1 Observations protocolées et opportunistes	19
2.2 Observations protocolées	21
Analyses des variables collectées lors des survols	21
3.1 Paramètres environnementaux	21
3.2 Répartition selon la profondeur	22
3.3 Sensibilité à la houle	25
3.4 Influence du substrat et de la profondeur sur la détectabilité	26
Contraintes identifiées	28
4.1 Organisation des vols	28
4.2 Paramètres environnementaux limitants	28
Proposition d'une stratégie de suivi aérien pour la période 2024 – 2029	29
Objectif principal : Acquisition de données d'occupation spatiale des tortues marines ...	29
Objectif secondaire : Évolution des abondances de tortues sur des zones à enjeux	30
Propositions de plans de vols	30
Évaluation des coûts pour la mise en œuvre d'un protocole de suivi aérien	38
Conclusion	40
Bibliographie	41

Liste des Figures

Figure 1 : Répartition des aérodromes recensés sur l'archipel guadeloupéen et l'île de Saint-Martin	6
Figure 2 : Zones réglementées en Guadeloupe demandant une dérogation pour la réalisation des vols à 300m d'altitude	8
Figure 3 : Zones réglementées à Saint-Martin demandant une dérogation pour la réalisation des vols à 300m d'altitude	8
Figure 4 : Délimitation des zones de prospection autour de la commune de Saint-François	9
Figure 5 : Délimitation de la zone de prospection autour de Marie-Galante	10
Figure 6 : Plan de vol établi pour la côte au vent de Saint-François	11
Figure 7 : Plan de vol établi pour la côte méridionale de Saint-François	11
Figure 8 : Plan de vol établi pour Marie-Galante	12
Figure 9 : Photographies des aéronefs testés	13
Figure 10 : Photographie montrant l'hétérogénéité du substrat	15
Figure 11 : Tracés des vols effectués sur les côtes de Saint-François	18
Figure 12 : Tracés des vols effectués autour de Marie-Galante	19
Figure 13 : Cartographie des observations autour de la commune de Saint-François	20
Figure 14 : Cartographie des observations autour de Marie-Galante	20
Figure 15 : Observations réalisées durant les survols des zones autour de Saint-François	24
Figure 16 : Observations réalisées durant les survols autour de Marie-Galante	24
Figure 17 : Tracés des vols d'évaluation de la détectabilité en fonction de la houle et du substrat	27
Figure 18 : Plan de vol proposé pour le Grand Cul de Sac Marin	31
Figure 19 : Plan de vol proposé pour le Nord Grande Terre	32
Figure 20 : Plan de vol proposé pour la côte au vent	32
Figure 21 : Plan de vol proposé pour la Désirade	33
Figure 22 : Plan de vol proposé la côte méridionale de Grande Terre	33
Figure 23 : Plan de vol proposé pour le Petit Cul de Sac Marin	34
Figure 24 : Plan de vol proposé pour la côte méridionale de Basse Terre	34
Figure 25 : Plan de vol proposé pour la côte sous le vent	35
Figure 26 : Plan de vol proposé pour le Nord Basse Terre	35
Figure 27 : Plan de vol proposé pour les Saintes	36
Figure 28 : Plan de vol proposé pour Marie-Galante	36
Figure 29 : Plan de vol proposé pour Saint Martin Nord	37
Figure 30 : Plan de vol proposé pour Saint Martin Sud	37

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Inventaires des aéronefs disponibles sur l'archipel Guadeloupéen et l'île de Saint-Martin	7
Tableau 2 : Récapitulatif des observations protocolées réalisées par vol et par zone	21
Tableau 3 : Paramètres environnementaux récoltés pour les différents vols	22
Tableau 4 : Observations de tortues marines (totales et proportion) en fonction des classes de profondeurs et la proportion de temps de vols par classes de profondeur	22
Tableau 5 : Observations de tortues marines (totales et proportion) par zone échantillonnée en fonction des classes de profondeurs et la proportion de temps de vols par classes de profondeur	23
Tableau 6 : Répartition des observations par zone et par profondeur en fonction de la sensibilité à la houle	26
Tableau 7 : Répartition des observations par zone en fonction des substrats identifiés	27
Tableau 8 : Surface des secteurs délimités pour l'archipel Guadeloupéen et distances des transects	30
Tableau 9 : Surface des secteurs délimités pour Saint Martin et distances des transects	31
Tableau 10 : Évaluation des besoins pour la mise en œuvre de suivis aériens	38
Tableau 11 : Estimation des budgets pour un vol sur chaque secteur pour l'archipel Guadeloupéen	39
Tableau 12 : Estimation des budgets pour un vol sur chaque secteur pour Saint-Martin	39

Liste des abréviations :

CMR : Capture-Marquage-Recapture

INA-Scuba : Indice d'abondance subaquatique des tortues marines en alimentation dans les Antilles françaises

PNATMAF : Plan national d'action des tortues marines dans les Antilles françaises

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

CONTEXTE

Les îles des Antilles Françaises comptent une diversité importante de tortues marines, six des sept espèces existantes sur la planète fréquentent les eaux de cette région. Trois de ces espèces : la tortue verte (*Chelonia mydas*), la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*) et la tortue luth (*Dermochelys coriacea*) utilisent les zones côtières et les plages de ces îles pour s'alimenter et se reproduire, faisant de cette région une zone fonctionnelle d'importance majeure pour ces espèces. Depuis de nombreuses années, différentes menaces anthropiques ont entraîné un déclin des populations de tortues marines à travers l'ensemble des océans. Pour pallier à la disparition de ces espèces, des mesures de protection internationales et nationales ont été déployées. Malgré les mesures mises en œuvre, ces espèces restent menacées d'extinction et sont inscrites sur la Liste de rouge de l'UICN. Aujourd'hui les tortues marines des Antilles Françaises bénéficient d'un Plan National d'Actions (PNATMAF) dédié à l'amélioration de l'état de conservation des populations reproductrices, en alimentation et en développement sur ces territoires.

L'action n°25 du volet « Connaissance » du PNATMAF vise à assurer un suivi des populations de tortues marines en alimentation aux Antilles Françaises. Ces suivis permettent de déterminer les zones utilisées en mer par les tortues marines ainsi que de caractériser et suivre l'évolution des effectifs des populations dans leur milieu naturel sur le long terme par la mise en œuvre de protocoles complémentaires. Le protocole de suivi aérien s'inscrit dans la volonté d'une stratégie globale de suivi des tortues marines en mer dans les Antilles françaises. Celle-ci se décline en la réalisation et le déploiement de trois protocoles : un suivi aérien sur une large couverture géographique pour collecter des données d'occupation (présence/absence) sans distinction d'espèce, un suivi subaquatique sur quelques sites spécifiques retenus d'après le suivi aérien, pour collecter des données d'abondance par espèce, et le programme de sciences participatives INASCUBA sur tous les sites de plongée sous-marine, qui permet de collecter les données d'observation des clubs de plongée volontaires. Cette stratégie de suivi a pour but d'évaluer les tendances d'évolution démographiques des populations de tortues marines sur les zones côtières sur la période 2022-2029.

Lors de la commission thématique « connaissance » du PNATMAF, qui s'est tenue le 20 octobre 2022, il a été proposé que l'animation du PNA s'appuie sur les retours d'expériences des acteurs participants au GTMF 2022 afin d'affiner le protocole de suivi aérien et déployer sa mise en œuvre pour tester l'influence de diverses variables pouvant influencer la qualité des résultats. La proposition de tester un protocole de suivi aérien a été validée par le comité de pilotage du PNATMAF le 22 mars 2023. La mise en œuvre de ce protocole s'inscrit dans une stratégie de suivi des tortues marines en mer sur des zones étendues à large échelle et pouvant être difficilement accessibles afin de collecter des données d'occupation spatiale des tortues marines sur des zones comprises entre la côte et 50 mètres de profondeurs pour l'archipel de la Guadeloupe et de Saint-Martin.

Suite à cette validation, un marché pour la calibration et la mise en œuvre d'un protocole de suivi aérien des tortues marines en Guadeloupe et à Saint-Martin a été lancé par l'équipe du PNATMAF. Le présent rapport reprend les différentes étapes réalisées dans le cadre de cette prestation.

Retour d'expérience du protocole mis en œuvre à la Réunion

Afin de déterminer les différents paramètres à prendre en considération pour la calibration d'un protocole aérien à l'échelle de la Guadeloupe et de la partie française de l'île de Saint-Martin, un échange technique avec Claire Jean de l'équipe de Kélonia qui effectue des suivis aériens sur le lagon de la Réunion depuis 1998 (Jean et *al.*, 2010) a été initié. Ce retour d'expérience a permis d'identifier les paramètres à prendre en compte pour l'établissement de la stratégie de survol d'un point de vue technique et environnemental.

Les recommandations partagées ont porté sur la configuration de la machine pour avoir une visibilité optimale du plan d'eau par le pilote et l'observateur et permettre un comptage quasi exhaustif des animaux observés. Il a également été abordé les équipements à embarquer : un GPS permettant de suivre la trajectoire de vol et une tablette de notation pour la prise des données ainsi que leur disposition pour que la prise d'information soit facilitée pour l'observateur tout en respectant les contraintes de sécurité inhérentes à un vol dans un engin ouvert.

Enfin, les paramètres environnementaux limitants pris en compte, pouvant influencer la détectabilité des animaux, ont été évoqués. Ces principaux paramètres étant les reflets sur l'eau dus à la position du soleil (éblouissement et réverbération) ainsi que la rugosité de l'eau liée aux conditions de vents et de houle. Il a été préconisé de réaliser les vols pour une hauteur de houle inférieure à 2m et un vent inférieur à 10 nœuds, ce dernier paramètre étant également pris en compte pour des raisons de sécurité du pilote et de l'observateur.

Lors des échanges il a également été recommandé d'identifier des zones de tests réduites et proches d'un aérodrome afin de limiter les coûts de survol pour rejoindre les zones de suivi. Les zones de tests doivent tout d'abord être définies en fonction de leurs expositions à différents paramètres environnementaux pouvant influencer sur la détectabilité des animaux, puis les caractéristiques techniques des vols (tracés et temps de vol) peuvent être établis en fonction des surfaces à survoler. Il a été préconisé de choisir préférentiellement des zones où la présence de tortues marines est connue. La fréquence des vols a également été évoquée, suite aux analyses des résultats obtenus depuis 1998, il a été remonté qu'il n'y avait pas différence observée pour des vols par réalisés une à deux fois par semaine par rapport à un vol effectué par mois.

Une difficulté due à la délimitation en mer non matérialisée de la zone survolée a également été soulevée et une vigilance a été portée sur la nécessité de former le ou les pilotes. Il a également été recommandé de fournir un support GPS avec un tracé du vol et un positionnement de la machine en temps réel au pilote afin qu'il puisse suivre le plan de vol et respecter les limites de la zone en mer lorsque celle-ci n'est pas matérialisée.

Identification des moyens techniques disponibles en Guadeloupe et à Saint-Martin

Aérodromes recensés en Guadeloupe et à Saint-Martin

Dans un premier lieu, les moyens techniques ont été identifiés. Pour l'archipel guadeloupéen, six aérodromes ont été localisés sur l'ensemble de l'archipel, trois sur l'île principale à Pointe-à-Pitre, à Baillif et à Saint-François ainsi que trois autres disposés aux Saintes (Terre-de-Haut), à la Désirade et à Marie-Galante. Concernant l'île de Saint-Martin, un seul aérodrome est présent sur la partie française du territoire, l'aérodrome de Grand-Case (Figure 1).



Figure 1 : Répartition des aérodromes recensés sur l'archipel guadeloupéen et l'île de Saint-Martin

Liste des aéronefs et prestataires recensés en Guadeloupe et à Saint-Martin

Un inventaire des différents types d'aéronefs disponibles sur l'archipel guadeloupéen et à Saint-Martin a été fait afin de pouvoir identifier celui ou ceux qui pourraient convenir pour la réalisation du protocole. Ainsi cinq machines ont été identifiées pour les deux îles, les cinq étant disponibles sur l'archipel guadeloupéen (*via* un prestataire ou en location directe) et seulement l'autogire étant disponible *via* un prestataire à Saint-Martin. Pour chaque machine, le modèle, la catégorie, le nombre de places, la vitesse maximale de vol, l'autonomie ainsi que la localisation de la disponibilité des machines ont été recensés (Tableau 1).

Tableau 1 : Inventaires des aéronefs disponibles sur l'archipel Guadeloupéen et l'île de Saint-Martin

Modèle d'aéronef	Catégorie d'aéronef	Nbre de place	Vitesse de vol	Autonomie	Localisation
CESSNA 172	Petit avion	4	130 à 185 km/h	4h	Pointe-à-Pitre Saint-François
CESSNA 150	Petit avion	2 (côte à côte)	130 à 185 km/h	4h	Saint-François
ZENAIR 701	ULM multiaxe hydravion	2 (côte à côte)	90 à 150 km/h	3h	Le Gosier
ZENAIR 701	ULM multiaxe	2 (côte à côte)	90 à 150 km/h	3h	Saint-François
Autogire	ULM autogire	2 (avant-arrière)	60 à 150 km/h	4h	Saint-François Grand-Case

L'ensemble des aéronefs identifiés peut voler à une hauteur de 500 pieds (152m) au-dessus de la mer hors des zones protégées où la hauteur de vol autorisée est de 1000 pieds (305m). Toutefois, des autorisations de survol à des altitudes plus basses au-dessus des zones protégées peuvent être obtenues par demande anticipée auprès des gestionnaires concernés (Parc National de Guadeloupe, Réserve Naturelle des Îlets de Petite-Terre, Réserve Naturelle Nationale de Saint-Martin, ...) (Figures 2 et 3).

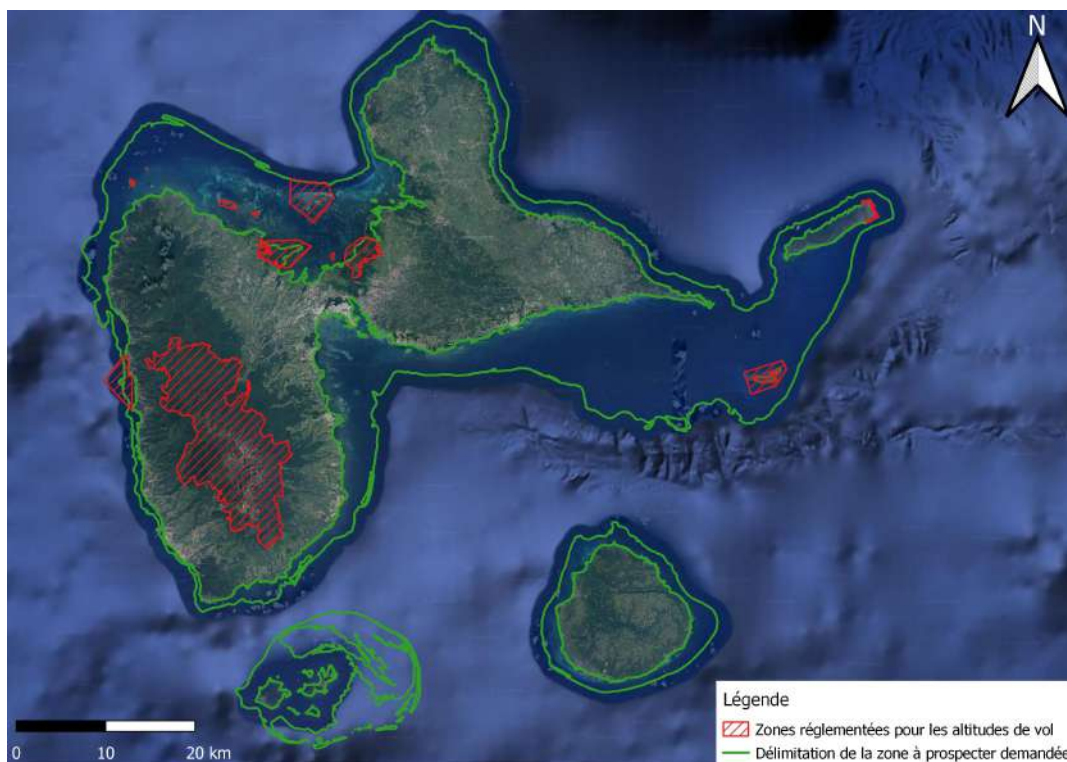


Figure 2 : Zones réglementées en Guadeloupe demandant une dérogation pour la réalisation des vols à 300m d'altitude

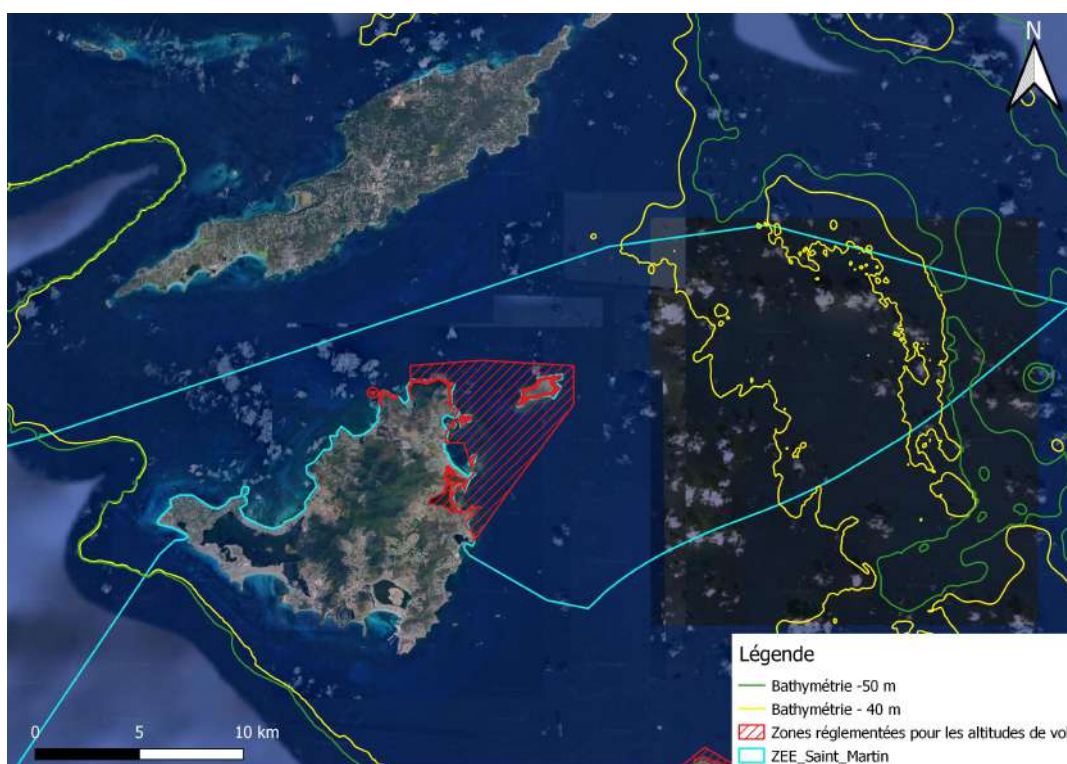


Figure 3 : Zones réglementées à Saint-Martin demandant une dérogation pour la réalisation des vols à 300m d'altitude

Concernant les tarifs, l'ensemble des prestataires ont harmonisés les prix de vols, ces derniers sont compris entre 200 et 250€ de l'heure pour l'archipel Guadeloupéen et 300€ de l'heure pour Saint-Martin. Pour des raisons budgétaires et de logistique, il est recommandé

de réaliser les vols *via* un prestataire pouvant assurer la mise à disposition de la machine et d'un pilote.

Choix des zones tests

Afin de tester les paramètres environnementaux pouvant influencer la détectabilité des tortues, différentes propositions de scénarii ont été faites à l'équipe du PNATMAF pour sélectionner trois zones test. Deux zones à proximité de l'aérodrome de Saint François ont été sélectionnées : une couvrant la surface entre la côte et la bathymétrie des 50m le long de la commune de Saint-François depuis la Pointe des Châteaux sur la côte méridionale et la seconde couvrant la surface entre la côte et la bathymétrie des 50m depuis la Pointe des Châteaux jusqu'à la limite administrative de la commune du Moule sur la côte au vent (Figure 4). De plus, ces deux zones ont été choisies car elles ne font l'objet d'aucune remontée de donnée d'observation de tortues en mer par le protocole INA-Scuba (Girard, 2016 ; Kap Natirel, 2023) mais dont des observations d'individus en mer ont été partagées par des marins pêcheurs dans ces secteurs (com. pers. Julie Pauwels). De plus, ces zones accueillent des sites de ponte pour les tortues marines attestant de la fréquentation des animaux (RTMG, 2019). Ces zones ont été découpées selon les limites administratives des communes, comme pour les résultats issus des suivis de ponte. Aussi leur positionnement géographique offre une exposition aux différents paramètres environnementaux à considérer (exposition au vent et à la houle). La dernière zone de test proposée est le pourtour de Marie-Galante qui est une zone d'occurrence des tortues marines connue et suivie par les protocoles INA-Scuba et de suivi traces (Girard, 2016 ; Kap Natirel, 2023 ; RTMG, 2019) (Figure 5).

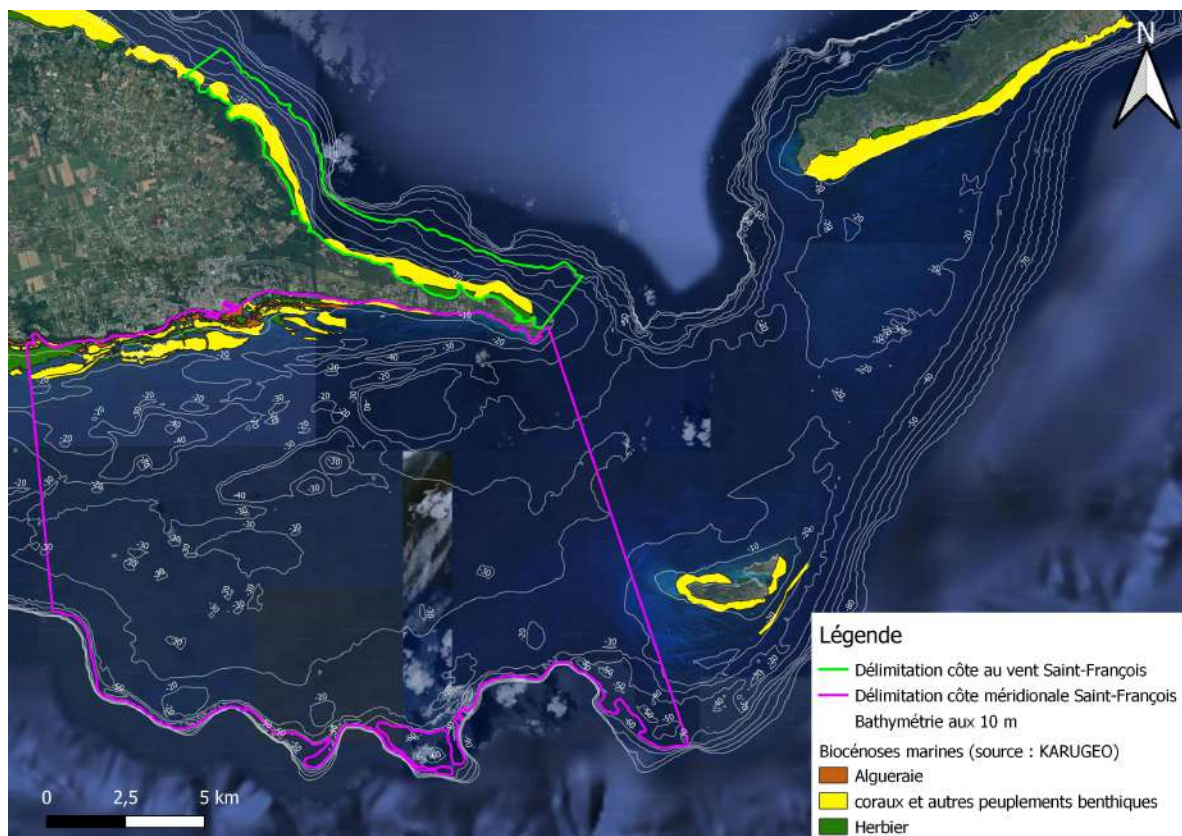


Figure 4 : Délimitation des zones de prospection autour de la commune de Saint-François

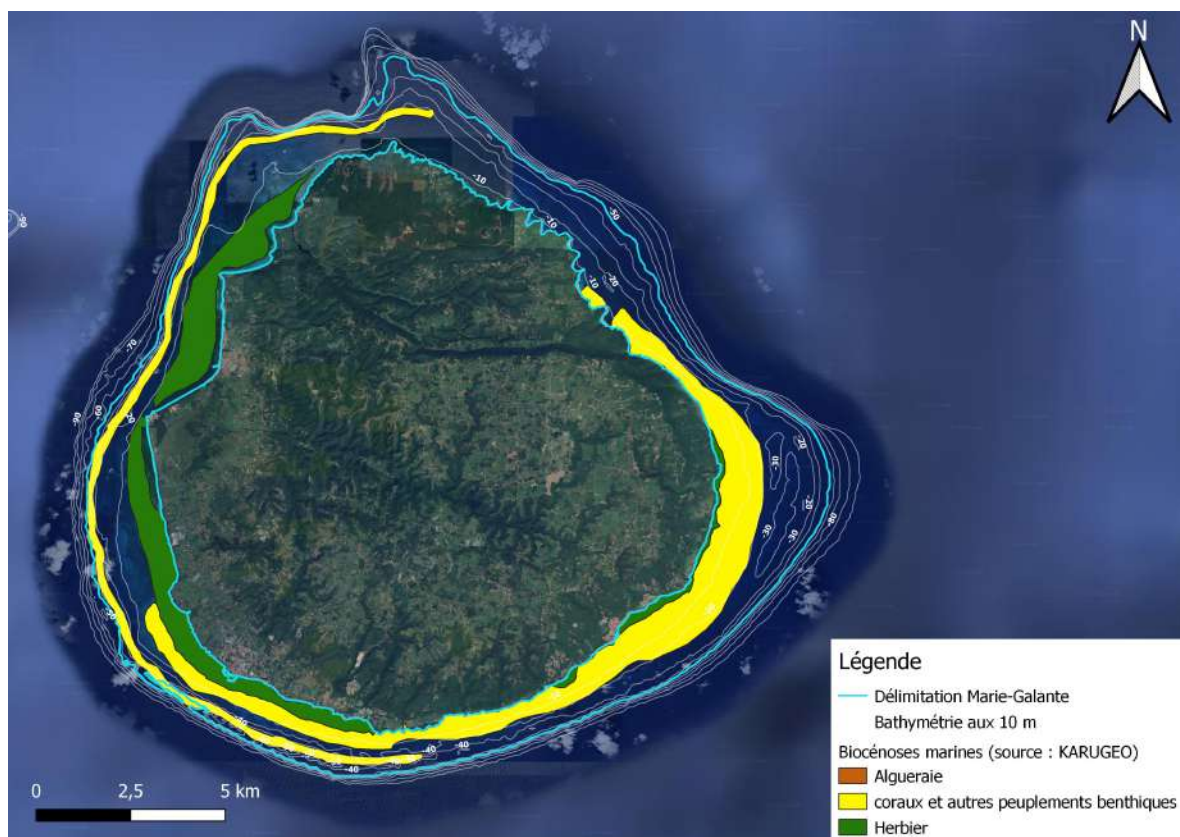


Figure 5 : Délimitation de la zone de prospection autour de Marie-Galante

Établissement des plans de vol

En fonction des surfaces de chacune des zones, un plan de vol a été créé à l'aide du logiciel Distance permettant de standardiser les tracés et la distance à parcourir pour chacune des zones dépendamment du modèle de transect choisi. Comme préconisé lors des discussions avec l'équipe de La Réunion, le modèle des transects en zig-zag a été retenu par rapport au modèle des transects parallèles. Les tracés ont été définis afin de couvrir entre 5% à 27% de la surface à échantillonner comme conseillé par la méthodologie déployée par l'Observatoire Pélagis lors des suivis aériens. Plus les zones à survoler sont étendues, moins le pourcentage de couverture est important (Van Canneyt *et al.*, 2018 ; Dorémus *et al.*, 2020). Les plans de vols sont également réalisés en fonction de la faisabilité des manœuvres par la machine. Ainsi, pour la zone méridionale de Saint-François les transects recouvrent 7% de la surface, pour la zone au vent de Saint-François ils représentent 20% et enfin 9,5% pour Marie-Galante. Ces tracés ont servi à définir le temps de vol nécessaire pour couvrir les différentes zones (Figures 6, 7 et 8).

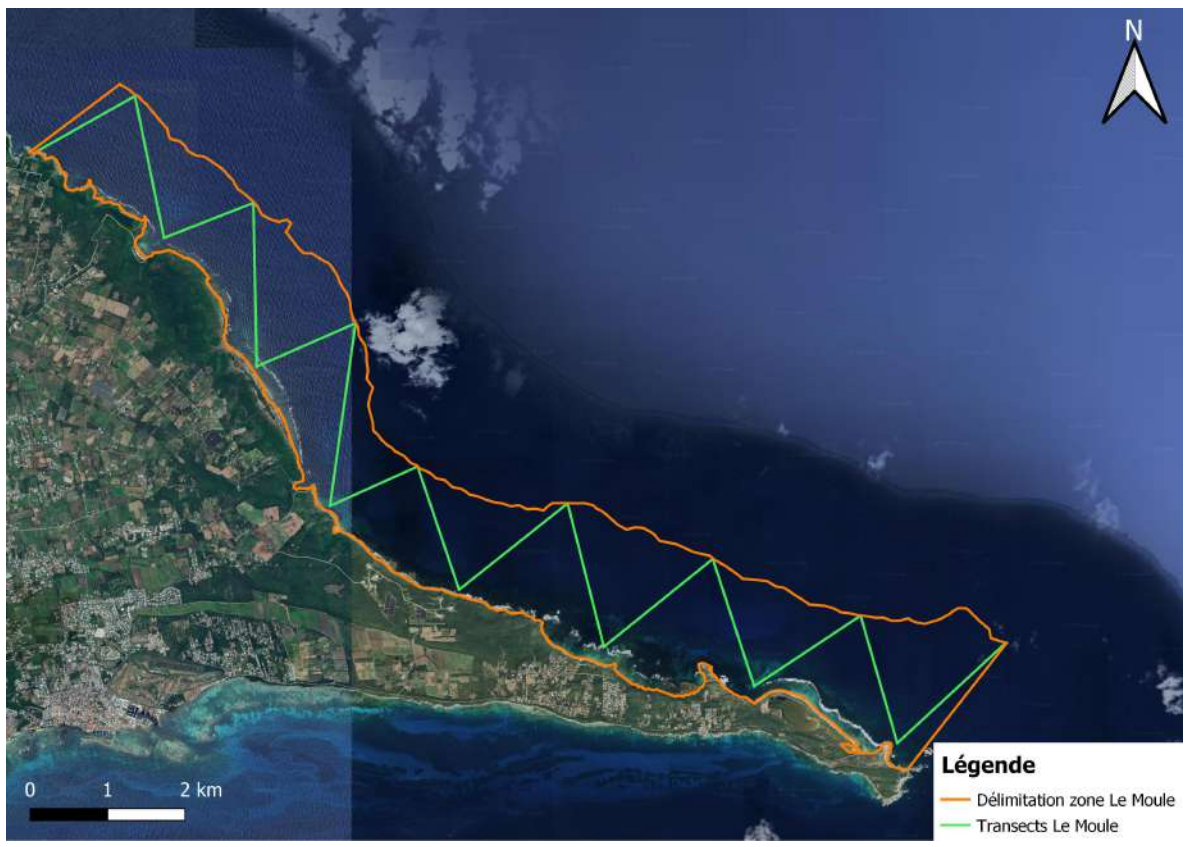


Figure 6 : Plan de vol établi pour la côte au vent de Saint-François

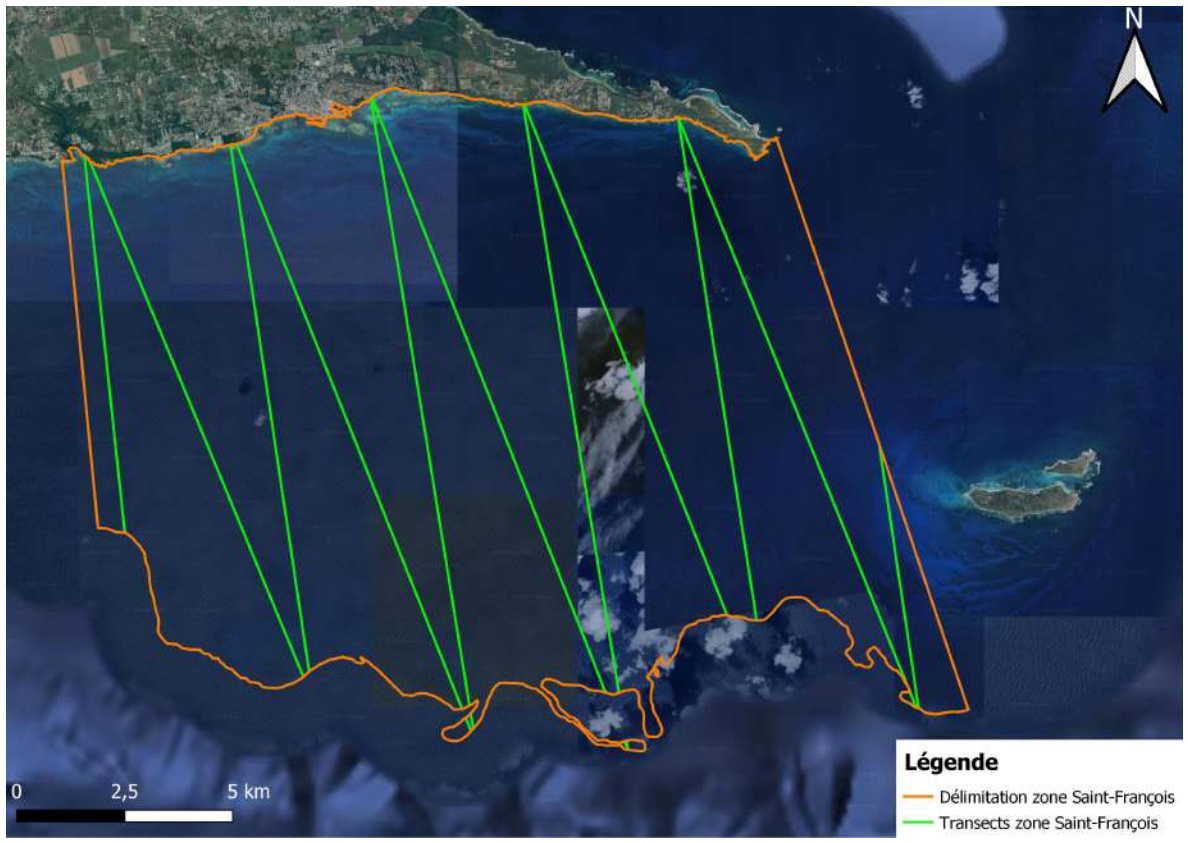


Figure 7 : Plan de vol établi pour la côte méridionale de Saint-François



Figure 8 : Plan de vol établi pour Marie-Galante

Choix de l'aéronefs

Suite au retour d'expérience de l'équipe de La Réunion et des travaux d'Aquasearch en suivi aérien (Safi et *al.*, 2021), il a été proposé de tester deux types d'aéronefs : le ZENAIR 701 (ULM multiaxes) et l'autogire afin de pouvoir comparer et sélectionner le positionnement de l'observateur et du pilote permettant la meilleure visibilité du plan d'eau et prise de données (Figure 9). En effet le ZENAIR 701 propose un positionnement côte à côte avec le pilote, chacun ne pouvant observer que d'un seul côté, alors que pour l'autogire le positionnement avant-arrière permet au pilote et à l'observateur de pouvoir observer des deux côtés de la machine comme ce qui est fait lors des survols à la Réunion.



Figure 9 : Photographies des aéronefs testés

Un prestataire proposant ces deux machines au départ de Saint-François et ayant participé à de la surveillance des mammifères marins lors d'évènements nautiques (Karujet) a été retenu pour la réalisation des survols.

Un premier vol a été effectué avec chacun des engins. Pour le vol réalisé avec l'ULM multiaxes, aucune tortue n'a été observée. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce résultat : le positionnement du pilote et de l'observateur ne permettant d'observer que d'un seul côté de l'appareil, une rugosité de la surface de l'eau dû à un état de mer estimé à 3 Beaufort, ou enfin au fait qu'il s'agissait du premier vol de l'observateur non expérimenté.

Le vol d'essai avec l'autogire a permis de comptabiliser une vingtaine de tortues. Le placement de l'observateur derrière le pilote permettant de réaliser des observations des deux côtés, il a été convenu que cette machine proposait la configuration de vol la plus intéressante pour réaliser les suivis aériens pour cette étude.

Évaluation des paramètres influant sur la détectabilité

Plusieurs paramètres environnementaux sont décrits comme impactant la détectabilité des animaux lors de suivis aériens, les tortues marines ne pouvant être repérées avec certitude que lorsqu'elles respirent en surface ou lors de leurs déplacements en subsurface à moins de 2m de profondeur. Le protocole déployé à La Réunion cadre d'ores et déjà les conditions de vent et de houle pour la réalisation des vols ainsi que la considération du substrat dans les analyses (Jean et *al.*, 2010). D'autres protocoles de suivis aériens prennent en compte différents paramètres comme la couverture nuageuse, l'intensité et l'angle de l'éblouissement, la turbidité de l'eau et la direction de la houle (Eckert et *al.*, 1999 ; Lauriano et *al.*, 2011 ; Dorémus et *al.*, 2020). Ces différents paramètres ont été relevés sur l'ensemble des vols effectués.

Deux vols ont été exclusivement consacrés à évaluer la détectabilité des animaux en fonction de la distinction du fond et de la nature du substrat. En effet, au cours des suivis des zones test, les observateurs ont remarqué que la détection des tortues marines pouvait être moins évidente sur les zones peu profondes où le substrat est visible depuis, l'engin rendant la surface d'observation moins homogène (Figure 10). Ce paramètre doit ainsi être considéré comme pouvant entraîner un biais de détectabilité selon les zones survolées et l'expérience de l'observateur contrairement à des zones plus profondes où le substrat n'est plus visible et qui sont donc plus homogènes. Pour les survols réalisés à La Réunion, la détection des tortues se fait à partir d'un fond de 2m minimum de profondeur pour éviter les observations sur la partie la plus visible du récif corallien. Les caractéristiques géomorphologiques des récifs coralliens à La Réunion et dans les Antilles françaises étant très différentes, la transposition directe du protocole de La Réunion pour la partie détectabilité n'est pas possible.



Figure 10 : Photographie montrant l'hétérogénéité du substrat

Afin d'affiner la délimitation de ces zones de moins bonne détectabilité, la limite des zones de distinction du substrat a été repérée et géoréférencée par l'observateur depuis les airs lors des deux vols. Les vols ont été réalisés à proximité de la côte, l'un sur la zone test le long de la côte au vent entre Le Moule et la Pointe des Châteaux, et l'autre sur un transect spécifiquement créé pour estimer la détectabilité le long de la côte méridionale entre la Pointe des Châteaux et la commune de Sainte-Anne. Afin de correspondre aux conditions d'observation du suivi, ces vols ont été réalisés à la même hauteur et à la même vitesse que les vols de comptage des tortues.

Matériel

1.1 Aéronef utilisé

L'autogire utilisé pour l'étude possède une verrière amovible permettant de complètement fermer l'habitacle. Celle-ci pouvant réduire le champ de vision et la qualité de la détection ou de la prise de photo due à la présence de reflet, il a été préféré de réaliser les vols en retirant la verrière, excepté lorsque les conditions météorologiques ne le permettaient pas (pluie annoncée).

Cette machine présente une autonomie de 4h et peut voler de 60 à 150 km/h, répondant ainsi aux critères de vols pour la réalisation des suivis sur les zones tests.

1.2 Matériel embarqué

Afin de récolter les données nécessaires au suivi des tortues marines, une plaquette immergeable a été utilisée comme support de notation, cette dernière permettant de se soustraire de feuilles pouvant avoir une prise au vent et s'envoler. Deux GPS ont également été utilisés, un permettant au pilote de suivre le tracé des transects, le deuxième servant à l'observateur à enregistrer les coordonnées des observations. L'observateur était équipé d'une paire de lunettes de soleil polarisées, celles-ci permettant de limiter les reflets sur la surface de l'eau. Enfin, un appareil photo a été embarqué pour prendre des photos des individus observés. L'appareil photo était synchronisé à l'heure du GPS avant les vols afin de pouvoir retrouver les coordonnées GPS de chaque observation grâce à l'heure de la prise de vue.

Tout le matériel embarqué était sécurisé et attaché à l'observateur et au pilote afin d'éviter tout risque de perte en cours de vol pouvant également être une source de danger importante.

Méthodologie

Les vols ont été réalisés entre 7h30 et 10h30 uniquement lorsque les conditions météorologiques correspondaient à celles définies par le protocole réalisé à La Réunion, soit une vitesse de vent inférieure à 10 nœuds et une houle inférieure à 2 m. Les trois zones tests survolées ont été parcourues à une altitude de 150 m et à une vitesse de 100 km/h.

Pour chaque vol, l'observateur a noté les paramètres suivants :

- La date du vol
- L'heure de décollage et d'atterrissage ;
- L'heure de début et de fin de transect ;
- Le nom de l'observateur ;
- Le nom du secteur parcouru ;
- L'état de la mer (en Beaufort),
- La vitesse du vent (en nœuds)
- La nébulosité (en octat)
- La zone d'éblouissement (angle par rapport au déplacement)

- La turbidité de l'eau (présence/absence)
- La direction de la houle

À chaque changement d'une des conditions environnementales, les données étaient de nouveaux collectées.

Une fois arrivée sur la zone à prospecter, l'observateur recherchait les tortues marines de chaque côté de l'appareil. À chaque observation, l'observateur notait l'heure d'observation, le nombre d'individus identifiés et prenait un point GPS.

Si l'observateur disposait d'un appareil photo, une photo de chaque individu observé était réalisée et l'heure ainsi que le nombre d'individus étaient notés sur la plaquette. Les coordonnées des observations pouvant être retrouvées ultérieurement en utilisant la trace enregistrée par le GPS et l'heure de prise de vue. Afin de distinguer les observations des différents individus, l'observateur prenait une photo du ciel ou de l'intérieur de l'autogire pour bien distinguer les séries de photos.

L'ensemble des vols a été réalisé par deux observateurs différents à l'œil nu. Le premier observateur n'ayant pas d'expérience dans les protocoles de suivis des tortues marines ni les suivis aériens, le deuxième étant plus expérimenté dans la réalisation de protocoles d'études des tortues marines. Le pilote ayant participé à différents programmes scientifiques sur la mégafaune marine a pu accompagner les observateurs pour la détection des animaux.

Effort d'échantillonnage

Au total, chaque zone a été survolée trois fois entre le 22 septembre 2023 et le 21 décembre 2023, représentant un total de 7h 36min d'effort de prospection pour une durée totale de 14h 40min de vol comprenant les trajets entre l'aérodrome et les zones de prospection ainsi que les vols d'évaluation de la détectabilité.

Le temps moyen de vol estimé pour réaliser les transects des différentes zones est pour la zone située sur la côte au vent de Saint-François de 18 minutes pour un parcours de 30 km, pour la zone sur la côte méridionale de Saint-François il a été estimé à 84 minutes pour une distance de transects de 150 km (Figure 11) et à 54 minutes pour réaliser 80 km de transects autour de Marie Galante (Figure 12).

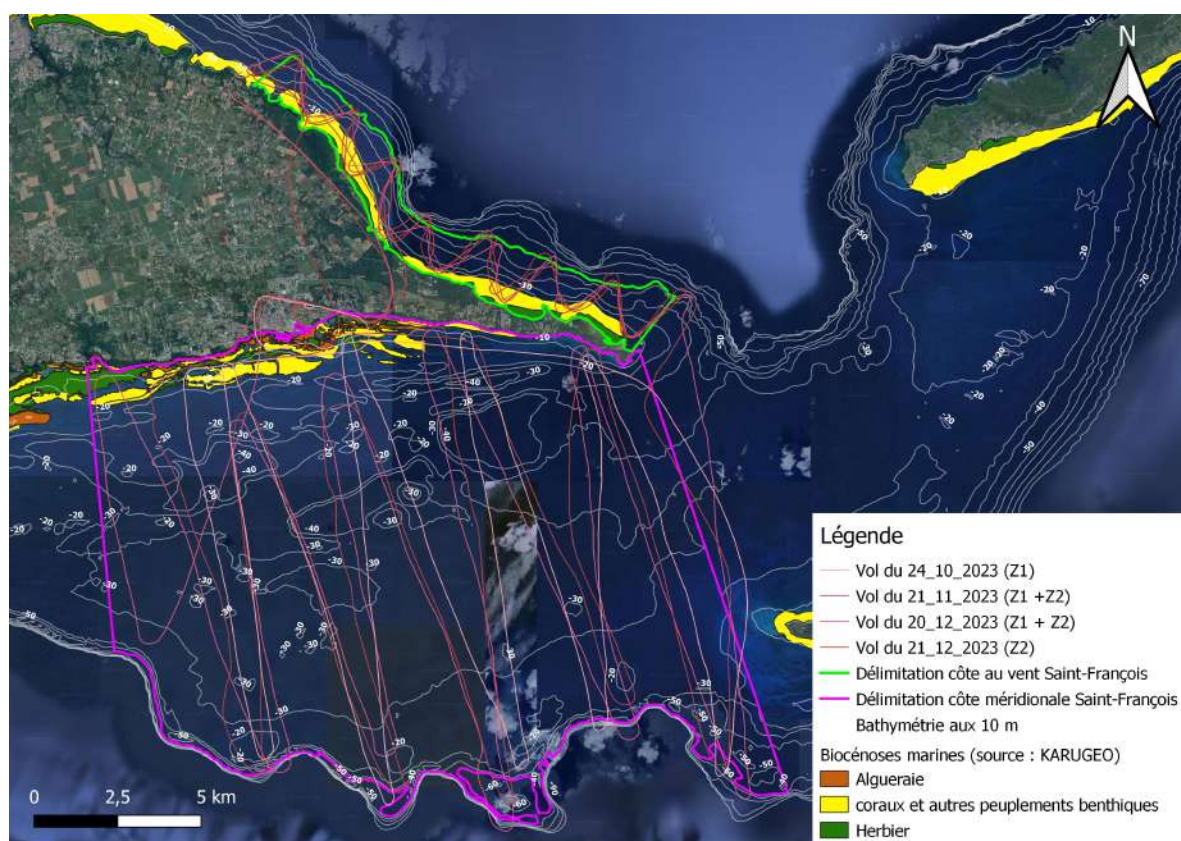


Figure 11 : Tracés des vols effectués sur les côtes de Saint-François

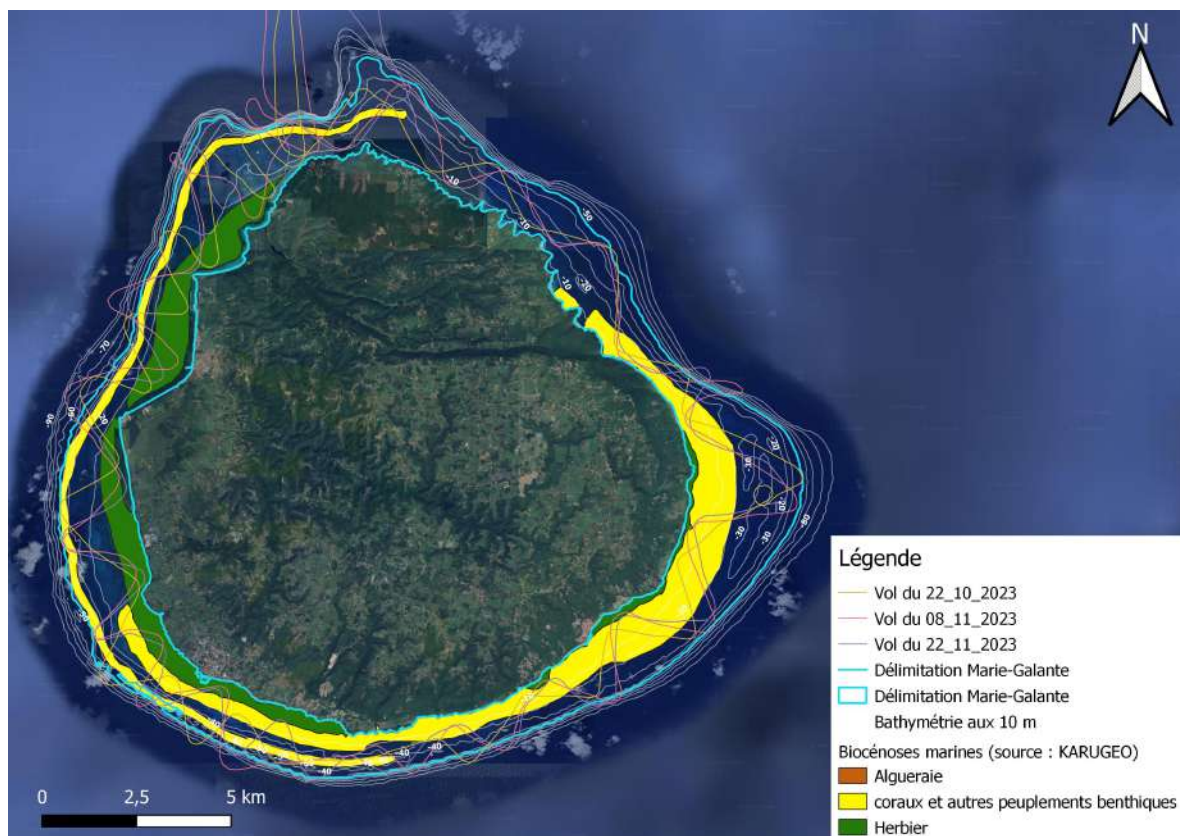


Figure 12 : Tracés des vols effectués autour de Marie-Galante

Les temps de trajet entre l'aérodrome et les différentes zones de suivi ont également été évalués. Pour les zones situées sur la côte au vent et la côte méridionale dans Saint-François, un temps de 20 minutes hors transects a été comptabilisé. Concernant Marie Galante, ce temps de trajet hors transect a été estimé à 40 minutes. Ces temps sont à ajouter aux temps de survols protocolés pour le dimensionnement des plans de vols.

Observations des tortues marines

2.1 Observations protocolées et opportunistes

Au total, 219 tortues ont été comptabilisées pour l'ensemble des vols sur les trois zones survolées durant les transects et les temps de vols hors transects ainsi que lors des vols d'estimation de la détectabilité. Ces vols ont permis de documenter et de révéler la présence de tortues marines sur les côtes méridionale et au vent de la commune de Saint-François (Figure 13). Les survols de Marie-Galante ont permis de confirmer la présence des tortues marines majoritairement sur la côte ouest (Figure 14), comme déjà mis en évidence par le protocole INA-Scuba pour lequel l'effort d'observation est exclusivement réalisé sur la côte ouest. Toutefois, ils ont également mis en évidence la présence de tortues marines sur la côte est.

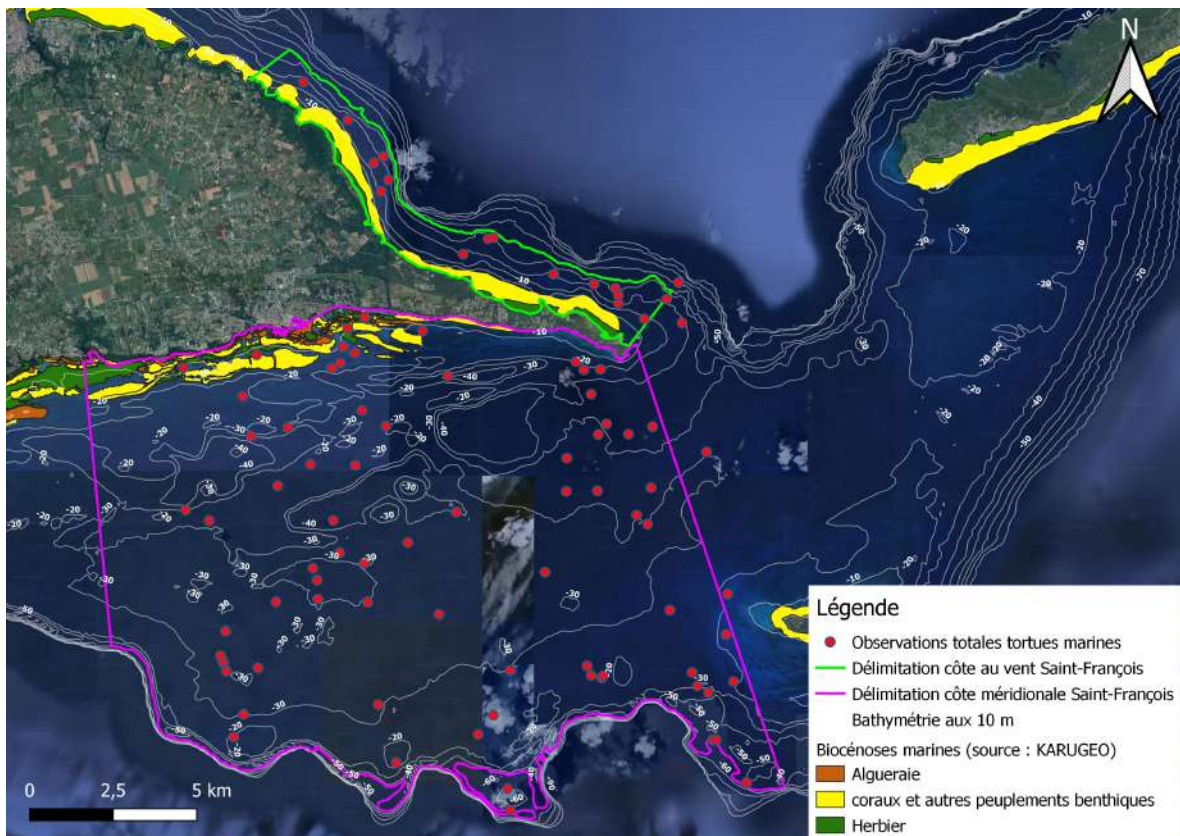


Figure 13 : Cartographie des observations autour de la commune de Saint-François

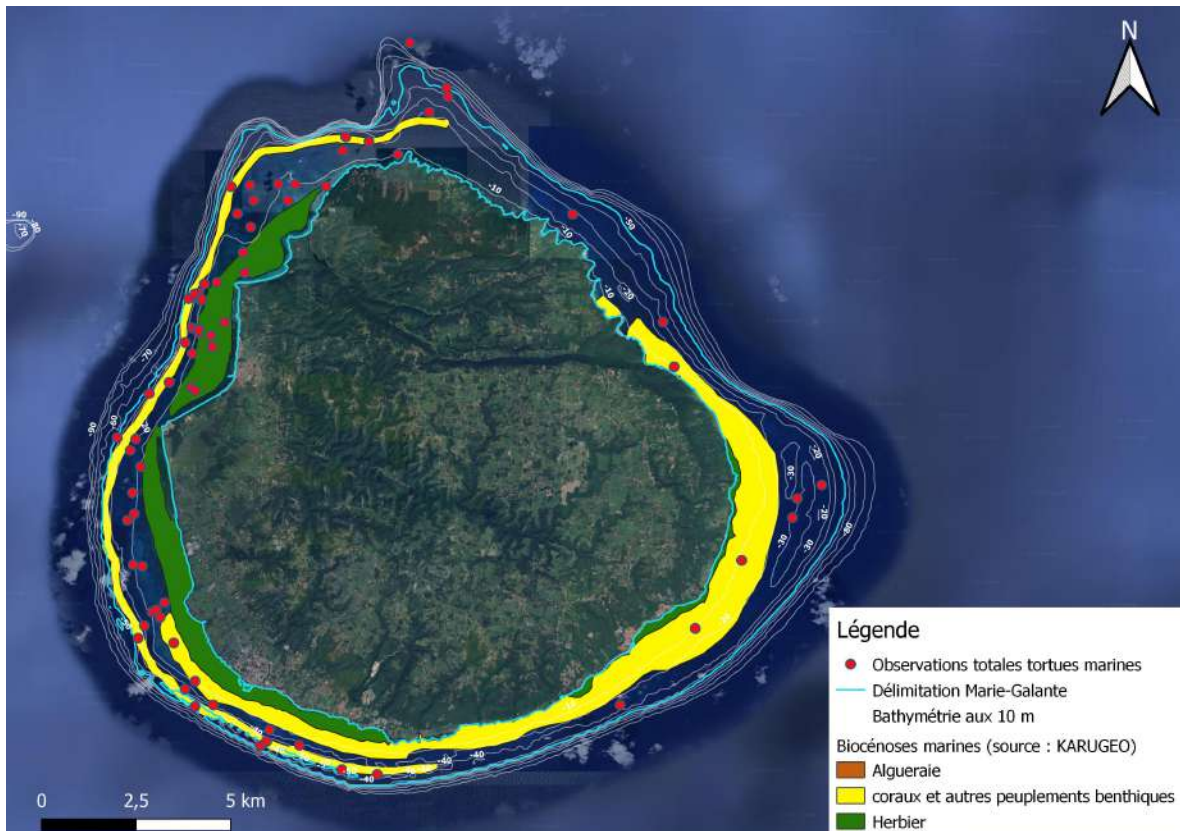


Figure 14 : Cartographie des observations autour de Marie-Galante

2.2 Observations protocolées

Au total, 192 observations de tortues marines ont été comptabilisées lors des survols protocolés des trois zones le long des transects. Le plus grand nombre d'observation a été comptabilisé autour de Marie-Galante avec 106 tortues observées, principalement sur la partie ouest. 72 tortues ont été comptabilisées sur la côte méridionale de Saint-François et enfin 14 individus ont été identifiés sur la côte au vent de la commune de Saint-François (Tableau 2).

Ces données, ramenées au temps de vols par zone, permettent ainsi d'estimer un nombre d'individus observé par minute de vol effectuée pour chacune des zones. Ainsi, pour la côte méridionale de Saint-François il a été estimé l'observation de 0,85 individus par minute de vol, 0,78 individu observé par minute de vol pour la côte au vent de Saint-François et enfin 1,96 tortues observées par minute de vol pour Marie-Galante.

Tableau 2 : Récapitulatif des observations protocolées réalisées par vol et par zone

Date	Nombre d'observations de tortues		
	Zone 1 Pointe des Châteaux. – Côte méridionale Saint- François	Zone 2 Pointe des Châteaux – Côte au vent Saint- François	Zone 3 Marie-Galante
22-sept 2023			20 (soit 0,37 tortue/min de vol)
24-oct 2023	26 (soit 0,31 tortue/min de vol)		
08-nov 2023			29 (soit 0,54 tortue/min de vol)
21-nov 2023	22 (soit 0,26 tortue/min de vol)	9 (soit 0,5 tortue/min de vol)	
22-nov 2023			57 (soit 1,1 tortue/min de vol)
20-déc 2023	24 (soit 0,28 tortue/min de vol)	2 (soit 0,11 tortue/min de vol)	
21-déc 2023		3 (soit 0,17 tortue/min de vol)	
TOTAL	72	14	106

Comme précisé au commanditaire, un indice d'abondance ne peut être estimé lors de cette étude du fait du peu de nombre de vols réalisés ne permettant pas l'acquisition de données suffisantes.

Analyses des variables collectées lors des survols

3.1 Paramètres environnementaux

Parmi les paramètres testés, la turbidité de l'eau semble avoir un effet sur le nombre de tortues observées notamment pour la zone 2. Toutefois, les modèles statistiques testés (Test

exact de Fisher¹) ne permettent pas de trancher cette question en raison du nombre trop faible de réplicas pour toutes les conditions environnementales (Tableau 3).

De même l'état de la mer et l'angle d'éblouissement pourrait impacter la détection des tortues mais encore une fois le nombre de vols dans des conditions variées n'est pas suffisant pour trancher statistiquement.

Tableau 3 : Paramètres environnementaux récoltés pour les différents vols

Date	État de mer (Beaufort)	Vitesse du vent (Nœuds)	Nébulosité (Octat)	Éblouissement (Angle)	Turbidité
22-sept 2023	2	10	2-3	30-90	NON
24-oct 2023	2	7	2	110-130	OUI
08-nov 2023	2	9	3	30-90	NON
21-nov 2023	2	8	1	110-130	NON
22-nov 2023	1	7	2	110-130	NON
20-déc 2023	2	6	2	110-130	NON (Z1) OUI (Z2)
21-déc 2023	2	5	0	110-130	OUI

3.2 Répartition selon la profondeur

Concernant les profondeurs d'observation, le plus grand nombre de tortues a été comptabilisé sur des profondeurs comprises entre 5 et 15m et 20 à 40 m. Ces profondeurs étant également celles qui ont été le plus survolées, respectivement 19,5% et 47,5% du temps de vol (Tableau 4). Des différences du nombre d'observations selon les profondeurs en fonction des zones survolées est constaté. En effet, il ressort pour Marie-Galante que la plus grande proportion de tortues marines est observée pour des profondeurs comprises entre 5 et 15m alors que pour la côte méridionale et la côte au vent de la commune de Saint-François le plus grand nombre de tortues a été comptabilisé pour les profondeurs comprises entre 20 et 40m de fond (Tableau 1). Le temps moyen de survols pour chaque classe de profondeur est présenté afin de pondérer les observations en fonction de l'effort d'échantillonnage.

Tableau 4 : Observations de tortues marines (totales et proportion) en fonction des classes de profondeurs et la proportion de temps de vols par classes de profondeur

Profondeur	>0	[0-5[	[5-10[	[10-15[	[15-20[	[20-30[	[30-40[	[40-50[	>50
Nombre de tortues	NA	8	42	22	14	53	34	13	6
Proportion tortue (%)	NA	4	22	11	7	28	18	7	3
Temps moyen de survol (%)	0.5	7	10.5	9	8	25	22.5	9	8.5

¹ Les p-values des tests réalisés ne sont volontairement pas présentées ici. Les résultats des tests sont indiqués à titre exploratoire, le jeu de données présentant un trop faible nombre de réplicas pour chaque condition environnementale pour que les tests soient jugés comme valable statistiquement.

Tableau 5 : Observations de tortues marines (totales et proportion) par zone échantillonnée en fonction des classes de profondeurs et la proportion de temps de vols par classes de profondeur

Profondeur	Zone 1 Pointe des Châteaux. – Côte méridionale Saint- François			Zone 2 Pointe des Châteaux – Côte au vent Saint- François			Zone 3 Marie-Galante		
	Nb tortues	Proportion tortue (%)	Temps moyen survol	Nb tortues	Proportion tortue (%)	Temps moyen survol	Nb tortues	Proportion tortue (%)	Temps moyen survol (%)
[0-5[	0	0	1	0	0	9	8	7.5	11
[5-10[	0	0	1	0	0	13	42	40	18
[10-15[	3	4.5	5	0	0	7	19	18	15
[15-20[	4	5.5	7	1	7	6	9	8	11
[20-30[	38	53	39	4	29	22	11	10	15
[30-40[	19	26	37	7	50	21	8	7.5	10
[40-50[	4	5.5	8	2	14	12	7	7	7
>50	4	5.5	2	0	0	10	2	2	13

La répartition des tortues marines observées en fonction des profondeurs est également liée à la géomorphologie des zones survolées. En effet, pour les côtes de la commune de Saint-François, les fonds compris entre 20 et 40m de profondeurs représentent une plus grande étendue (Figure 15), expliquant qu'ils aient été le plus survolés et comprennent le plus grand nombre d'observations de tortues marines. Alors que pour Marie-Galante, les profondeurs comprises entre 5 et 15m représentent la proportion la plus importante des fonds permettant d'accueillir un plus grand nombre de tortues (Figure 16).

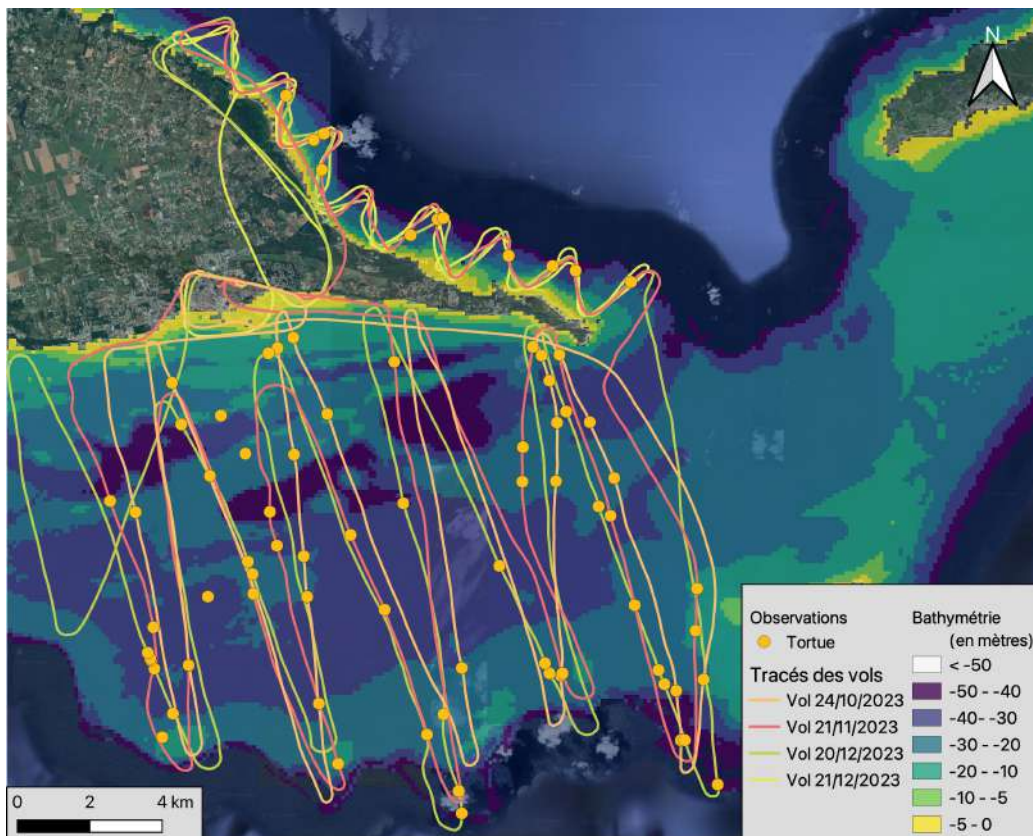


Figure 15 : Observations réalisées durant les survols des zones autour de Saint-François

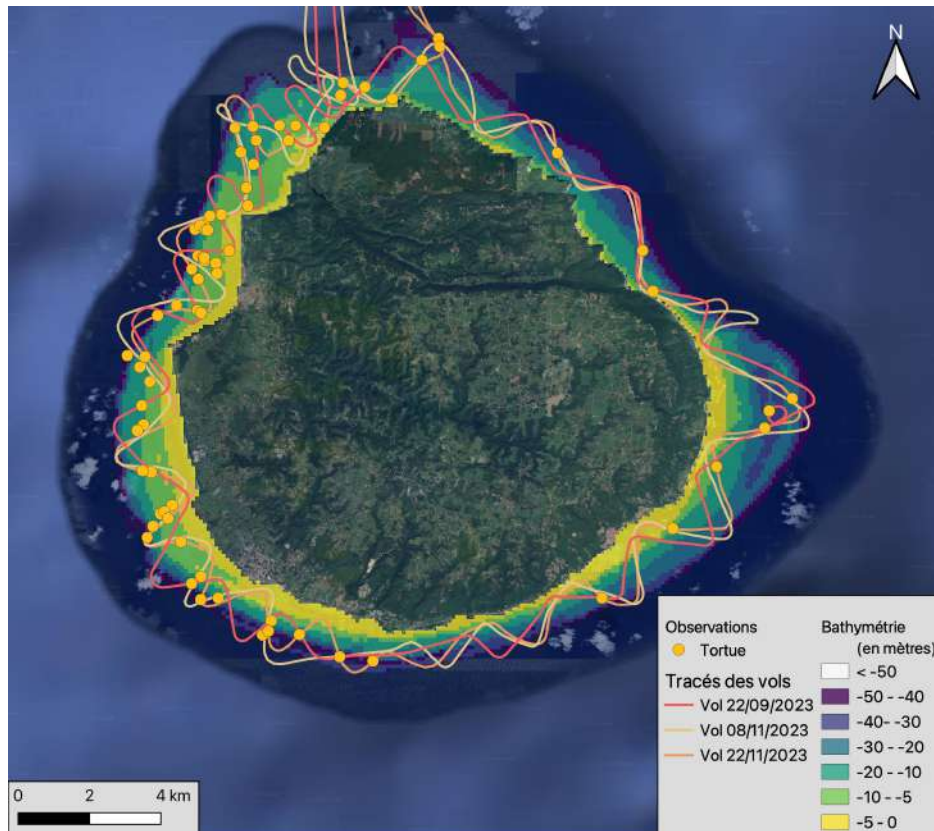


Figure 16 : Observations réalisées durant les survols autour de Marie-Galante

3.3 Sensibilité à la houle

En calibrant les sorties pour une houle de moins de 2 mètres comme conseillé à La Réunion, l'impact de la houle sur la présence de tortues et surtout sur la détectabilité des tortues est limitée.

Il est observé un effet significatif de la houle sur la détectabilité et la présence des tortues marines sur les petits fonds compris entre 0 et 15m de profondeur. Toutefois, il s'agit des profondeurs où plus de tortues marines sont observées lorsque ces zones sont moins exposées à la houle comme pour la zone ouest de Marie-Galante (Tableau 6, Test exact de Fisher significatif²). L'effet de la houle plus importante sur des petits fonds pourrait influencer la répartition des tortues marines sur les zones de faibles profondeurs. En effet, ces dernières ont tendance à éviter les zones de déferlement et à s'éloigner plus au large en présence de houle, expliquant leur répartition à des profondeurs supérieures à 15m sur les côtes méridionales et au vent de Saint-François où les zones de profondeurs de moins de 10m sont plus exposées à la houle que la partie ouest de Marie-Galante.

À Marie Galante la présence d'un plus grand nombre de tortues marines observées dans une zone non soumise à la houle et de faible profondeur peut s'expliquer par la spécificité de l'île et de ses fonds peu profonds proposant un vaste herbier sur la côte ouest propice à la présence de tortues marines.

² Les p-values des tests réalisés ne sont volontairement pas présentées ici. Les résultats des tests sont indiqués à titre exploratoire, le jeu de données présentant un trop faible nombre de répliques pour chaque condition environnementale pour que les tests soient jugés comme valable statistiquement.

Tableau 6 : Répartition des observations par zone et par profondeur en fonction de la sensibilité à la houle

Secteur	Sensibilité à la houle	NON	OUI
	Classe de profondeur estimée		
Zone 3	[0-5[	8	0
	[5-10[	40	2
	[10-15[	15	4
	[15-20[	8	1
	[20-30[	6	5
	[30-40[	3	5
	[40-50[	3	4
	>50	0	2
Zone 2	[0-5[	0	0
	[5-10[	0	0
	[10-15[	0	0
	[15-20[	0	1
	[20-30[	0	4
	[30-40[	0	7
	[40-50[	0	2
	>50	0	0
Zone 1	[0-5[	0	0
	[5-10[	0	0
	[10-15[	0	3
	[15-20[	1	3
	[20-30[	3	35
	[30-40[	5	14
	[40-50[	0	4
	>50	0	4

3.4 Influence du substrat et de la profondeur sur la détectabilité

La répartition des tortues marines peut aussi être due aux caractéristiques écologiques des zones survolées, notamment les habitats présents. La cartographie des habitats marins disponible à ce jour n'étant pas exhaustive, il a seulement été possible d'identifier les substrats pour une partie des observations faites à Marie-Galante. Ainsi, sur les 106 observations, 17 ont été faites sur un habitat composé de coraux et autres peuplement benthiques, 19 sur des herbiers et 70 sur un habitat non défini. Pour les deux autres zones toutes les observations protocolées ont été faites sur des habitats non définis et à des profondeurs ne permettant pas la distinction du substrat depuis les airs (Tableau 7).

Pour Marie-Galante, seulement 34% des observations ont été compatibles sur des habitats identifiés. L'ensemble des autres observations a été réalisé en pleine eau sur des zones où la nature du fond n'était pas distinguable pour les trois zones. Pour les tortues observées sur un fond corallien, aucune n'a été observée dans un fond de moins de 5m et seulement trois pour une profondeur comprise entre 5 et 10m. Pour les herbiers, deux tortues ont été observées dans un fond de 0 à 5 m et 17 entre 5 et 10m. Les herbiers étant plus homogènes et de couleur plus foncée permettraient une meilleure détection des tortues sur des zones peu profondes. Les tortues étant observables lorsqu'elles viennent respirer en surface et jusqu'à 2m sous la surface lors de leur déplacement.

Tableau 7 : Répartition des observations par zone en fonction des substrats identifiés

Typologie habitats	Zone 1 Pointe des Châteaux. – Côte méridionale Saint-François	Zone 2 Pointe des Châteaux – Côte au vent Saint-François	Zone 3 Marie-Galante
Coraux et autres peuplements benthiques	0	0	17
Herbier	0	0	19
Indéfini	72	14	70

Les vols d'évaluation de la détectabilité sur les côtes de la commune de Saint-François ont permis de mettre en évidence une limite de visibilité homogène du plan d'eau à des profondeurs comprises entre 0 et 10m principalement pour les fonds coralliens et d'autres peuplements benthiques (Figure 17 : Tracés des vols d'évaluation de la détectabilité en fonction de la houle et du substratFigure 17). Ces limites peuvent expliquer l'absence d'observation de tortues marines sur ces zones qui peut être due à une moins bonne détection des animaux sur des fonds peu profonds et hétérogènes ou une absence des tortues marines sur une zone impactée par la houle.

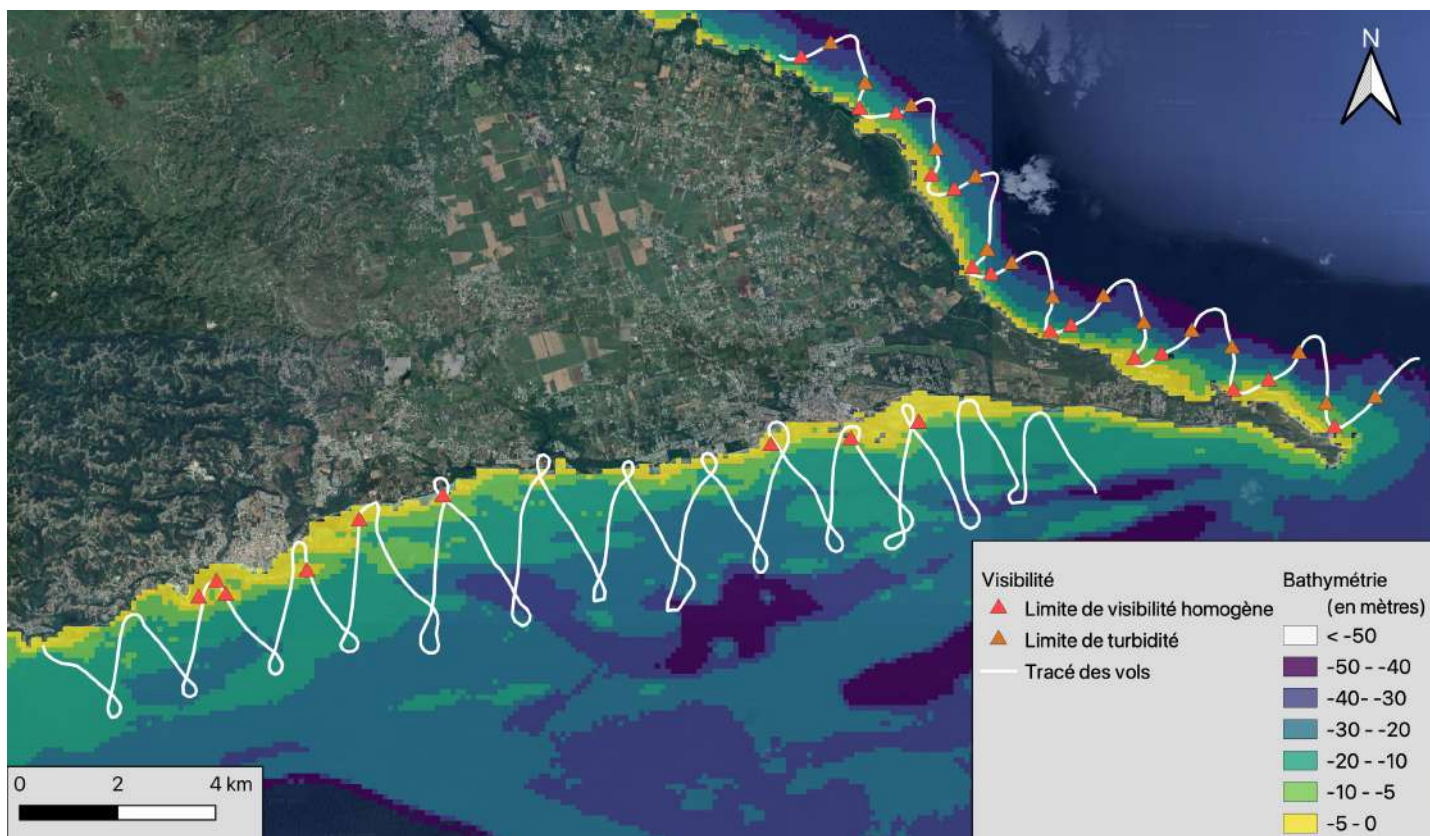


Figure 17 : Tracés des vols d'évaluation de la détectabilité en fonction de la houle et du substrat

Contraintes identifiées

4.1 Organisation des vols

La difficulté majeure pour la réalisation de la phase terrain de l'étude a été de concilier la disponibilité du prestataire, des observateurs et la météo favorable. Sur les 33 créneaux réservés auprès du prestataire entre septembre 2023 et février 2024, seulement 8 ont pu être réalisés. Les conditions météorologiques réelles (vent et houle) étant supérieures aux prévisions.

Entre septembre et décembre, les conditions météorologiques (essentiellement le vent) empêchaient fréquemment de réaliser des vols. En début d'année (janvier-février), la saison touristique a rendu le pilote beaucoup moins disponible. Ainsi il est important d'identifier la période la plus optimale pour la réalisation des survols. La saison sèche semblerait la période la plus adaptée aux vues de conditions limitantes de vent et de houle. Ces contraintes de saison et de disponibilité du pilote et de l'aéronef sont les mêmes à considérer pour Saint-Martin.

4.2 Paramètres environnementaux limitants

Les résultats des analyses ont permis de mettre en évidence les paramètres environnementaux limitants et influençant sur la détectabilité des tortues marines à prendre en compte dans le dimensionnement des suivis qui seront réalisés. Les paramètres identifiés sont la profondeur, la nature du substrat, la houle sur les zones peu profondes et l'éblouissement présent sur le plan d'eau.

Pour se soustraire de ces paramètres impactant la détectabilité des tortues marines **il est proposé de considérer des zones d'étude de profondeur supérieure à 5m où le substrat n'est plus distingué et ne peut engendrer un biais dans la détectabilité des tortues**. Aussi, pour limiter l'effet de l'éblouissement, il est proposé de ne compter les tortues que d'un seul côté de l'appareil. En effet, le vol en zigzag et les différentes zones survolées ne permettent pas de garantir sur l'ensemble du trajet une visibilité des deux côtés de l'appareil en fonction de l'orientation du transect par rapport au soleil. La disposition de l'autogire offrant la possibilité d'observer des deux côtés de l'appareil, permet de se soustraire de cette contrainte liée à l'éblouissement en observant du côté où il n'y a pas d'éblouissement. Il est donc recommandé de ne compter les tortues que d'un seul côté de l'appareil et de changer de côté en fonction de l'éblouissement. Si toutefois l'éblouissement est absent, les comptages doivent tout de même se faire que d'un seul côté pour que l'effort d'échantillonnage soit comparable.

La calibration du protocole de suivi aérien des tortues marines et son déploiement sur des zones tests ont permis d'évaluer la faisabilité, le dimensionnement et les limites de réalisation de ce protocole à l'échelle de l'archipel guadeloupéen et de l'île de Saint-Martin. Cette étude a également permis de mettre en avant les moyens techniques, financiers et humains nécessaires à la réalisation de ce protocole ainsi que les paramètres limitants à considérer afin de répondre aux objectifs des suivis mis en œuvre.

En effet, la réalisation d'un tour complet de l'île de la Guadeloupe sur un temps restreint et une fréquence régulière semble difficilement réalisable aux vues des contraintes techniques (4 h d'autonomie des machines, disponibilité des prestataires, localisation des aérodromes) et météorologiques (limite du protocole à 10 nœuds de vent et une houle inférieure à 2m). La mobilisation de plusieurs machines et plusieurs observateurs en simultanée peut toutefois être une option à considérer si le budget et les moyens humains le permettent

Aussi, il est à noter que sur certaines zones de faibles profondeurs (0 à 5m) la détectabilité des tortues marines peut être fortement biaisée en fonction de la perception de la nature du fond rendant le substrat hétérogène et la présence de houle. Il est donc recommandé de ne pas considérer ces zones lors de l'établissement des plans de vol, ce qui permettra de réduire les surfaces à échantillonner et de gagner sur la réalisation du temps de vol.

Objectif principal : Acquisition de données d'occupation spatiale des tortues marines

Afin de répondre à l'objectif d'identification de zones de présence/absence des tortues marines pour sélectionner des sites spécifiques au déploiement d'un protocole subaquatique, il est tout d'abord nécessaire de choisir les zones de survol en fonction de leur exposition aux conditions météorologiques tout en considérant l'autonomie de la machine. Concernant le dimensionnement de ces suivis, il est primordial de prendre en compte les temps de trajet pour se rendre sur les zones à échantillonner en complément des temps nécessaires à la réalisation des transects et de privilégier des temps de trajet courts pour se rendre sur la zone à prospecter afin de maximiser l'effort d'observation et de prise de données.

La période de réalisation des vols doit aussi être considérée selon les objectifs du suivi. Les îles de la Guadeloupe et de Saint-Martin étant à la fois des zones d'alimentation pour les tortues en croissance ainsi que des zones de ponte, la réalisation des vols devra être programmée selon les populations visées. Ces suivis devront donc être réalisés ponctuellement sur une période de temps réduite (pendant la saison de ponte ou hors saison de ponte). Il est recommandé de réaliser cinq suivis durant la période de ponte et cinq suivis hors période de ponte pour assurer l'acquisition d'un jeu de données conséquent permettant des analyses robustes.

Des campagnes autour de l'île à plus larges échelles temporelles (10 à 20 ans) peuvent être envisagées tout en considérant le budget, les moyens humains et matériel afin d'identifier la répartition des animaux et déterminer de nouvelles zones de suivi.

Objectif secondaire : Évolution des abondances de tortues sur des zones à enjeux

La mise en place de mesures de conservation adaptées nécessite la connaissance et l'identification de zones à enjeux spécifiques. Ces dernières peuvent être définies selon différents critères comme la fonctionnalité de ces zones pour une des étapes de vie de l'espèce ciblée ou encore la présence de menaces pouvant impacter la survie de l'espèce. Ces zones peuvent être identifiées en se basant sur les connaissances disponibles ainsi qu'en concertation avec les experts locaux. Le suivi des abondances des tortues marines peut être considéré comme un indicateur d'évaluation des mesures de conservation mises en œuvre.

Pour évaluer les densités d'abondance et leur évolution sur ces zones spécifiques, des suivis quantitatifs réguliers sont indispensables. Les estimations des abondances nécessitant des jeux de données conséquents, il est recommandé une période de réalisation sur le long terme pour permettre de palier aux différentes difficultés identifiées pour la réalisation des survols et pouvoir obtenir des résultats robustes. Ainsi, afin d'assurer au mieux la collecte de données, il est préconisé de cibler les zones à enjeux en considérant les différents paramètres limitants : éloignement de l'aérodrome, disponibilité et mobilisation de la machine, du pilote et de l'observateur, exposition de la zone aux paramètres environnementaux.

Propositions de plans de vols

Les contraintes techniques identifiées lors de cette étude (autonomie de la machine et répartition des aérodromes) ont été considérées pour délimiter des secteurs et planifier les plans de vols afin de limiter au mieux les trajets hors transects et d'adapter les designs à la géomorphologie des secteurs. Ainsi pour l'archipel Guadeloupéen, 11 secteurs ont été déterminés (Tableau 8, Figures 18 à 27).

Tableau 8 : Surface des secteurs délimités pour l'archipel Guadeloupéen et distances des transects

Secteurs	Surface (km ²)	Distance transects (km)
Grand Cul de Sac Marin	129	78
Nord Grande Terre	55	38
Côte au vent	44	41
Désirade	171	113
Côte méridionale Grande Terre	273	166
Petit Cul de Sac Marin	90	56
Côte méridionale Basse Terre	53	46
Côte sous le vent	28	39
Nord Basse Terre	58	38
Les Saintes	126	85
Marie-Galante	70	60

Concernant Saint-Martin, l'éloignement de la bathymétrie des 50m sur la côte au vent rendant la réalisation des survols non-sécuritaire, il a été choisi de limiter les zones de prospections à la bathymétrie des 40 m. Ainsi, deux secteurs ont été délimités (Tableau 9, Figures 28 et 29).

Tableau 9 : Surface des secteurs délimités pour Saint Martin et distances des transects

Secteurs	Surface (km ²)	Distance transects (km)
Saint Martin Nord	194	83
Saint Martin Sud	96	60

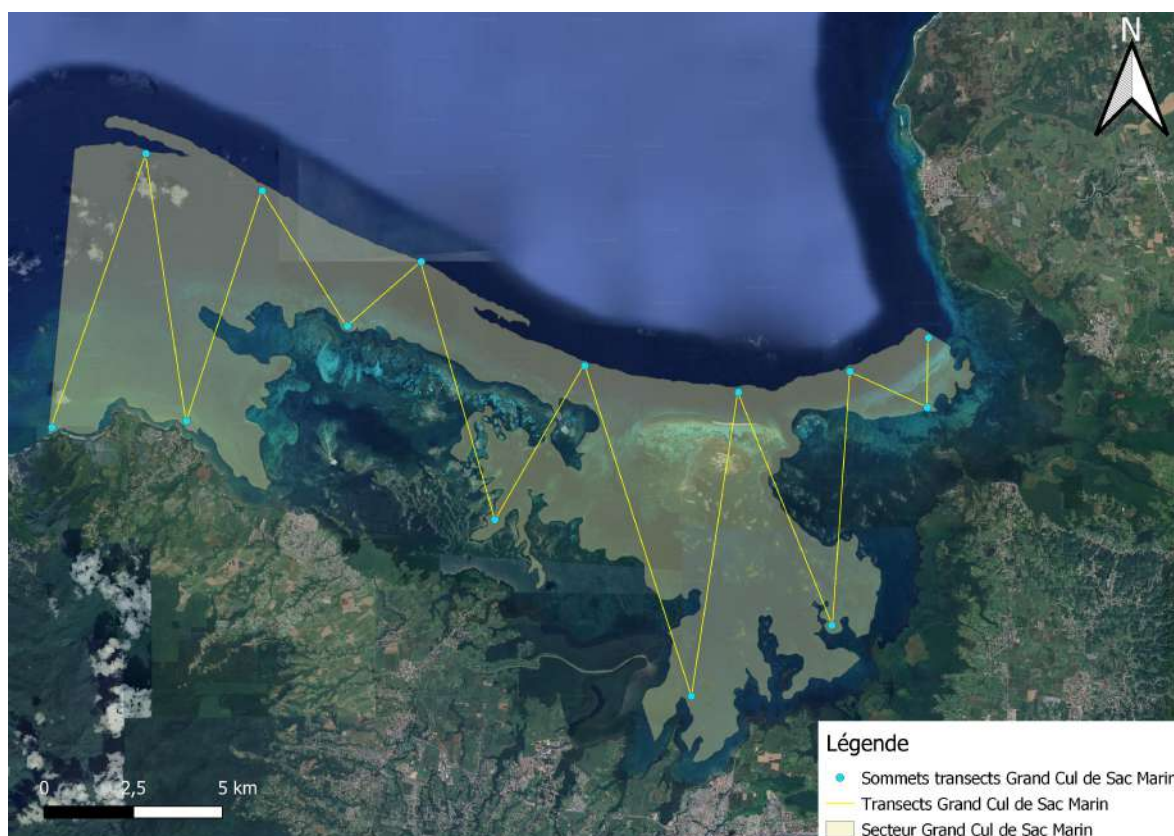


Figure 18 : Plan de vol proposé pour le Grand Cul de Sac Marin

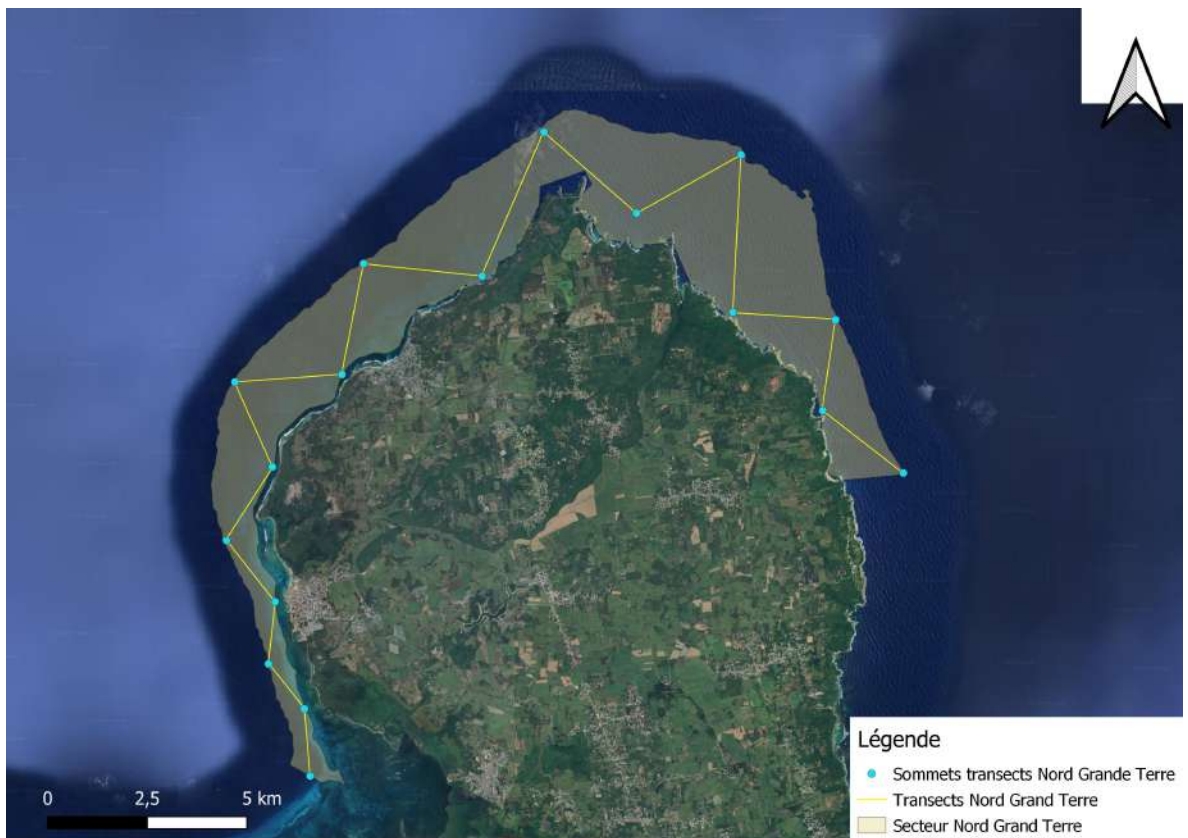


Figure 19 : Plan de vol proposé pour le Nord Grande Terre



Figure 20 : Plan de vol proposé pour la côte au vent



Figure 21 : Plan de vol proposé pour la Désirade

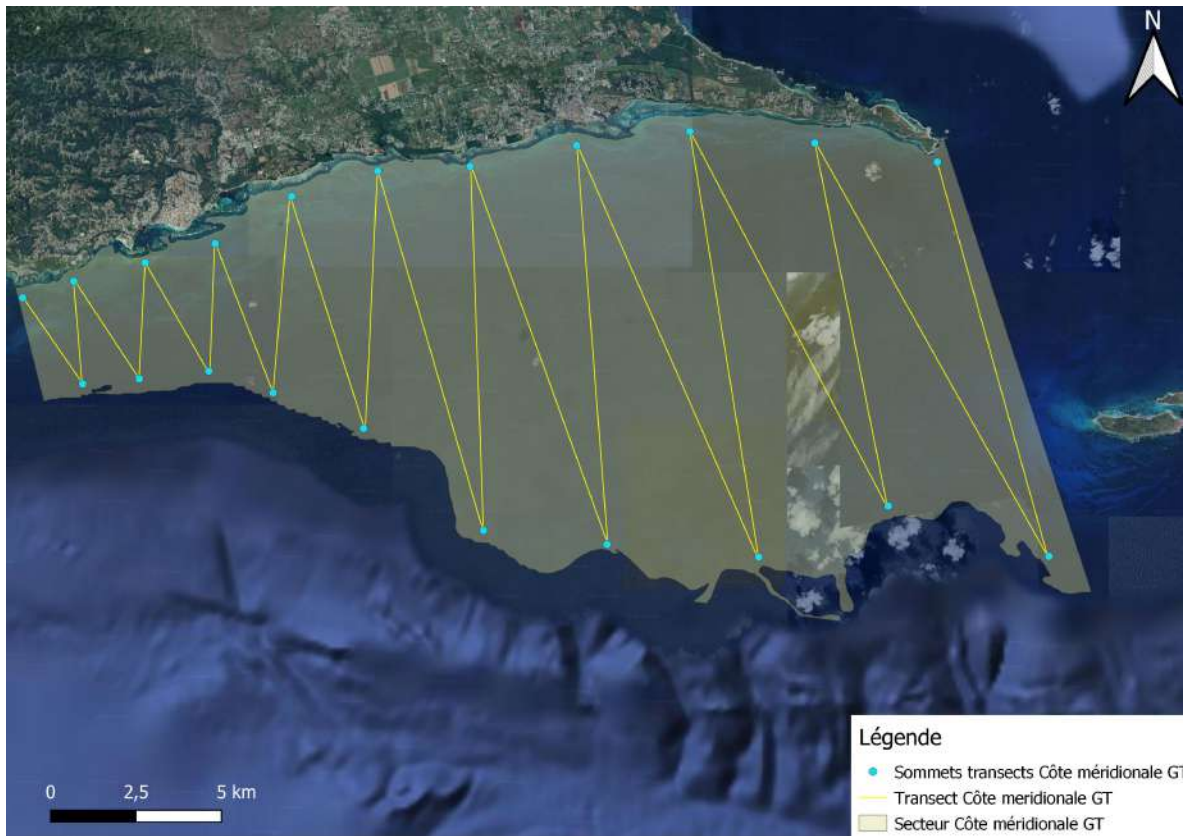


Figure 22 : Plan de vol proposé la côte méridionale de Grande Terre

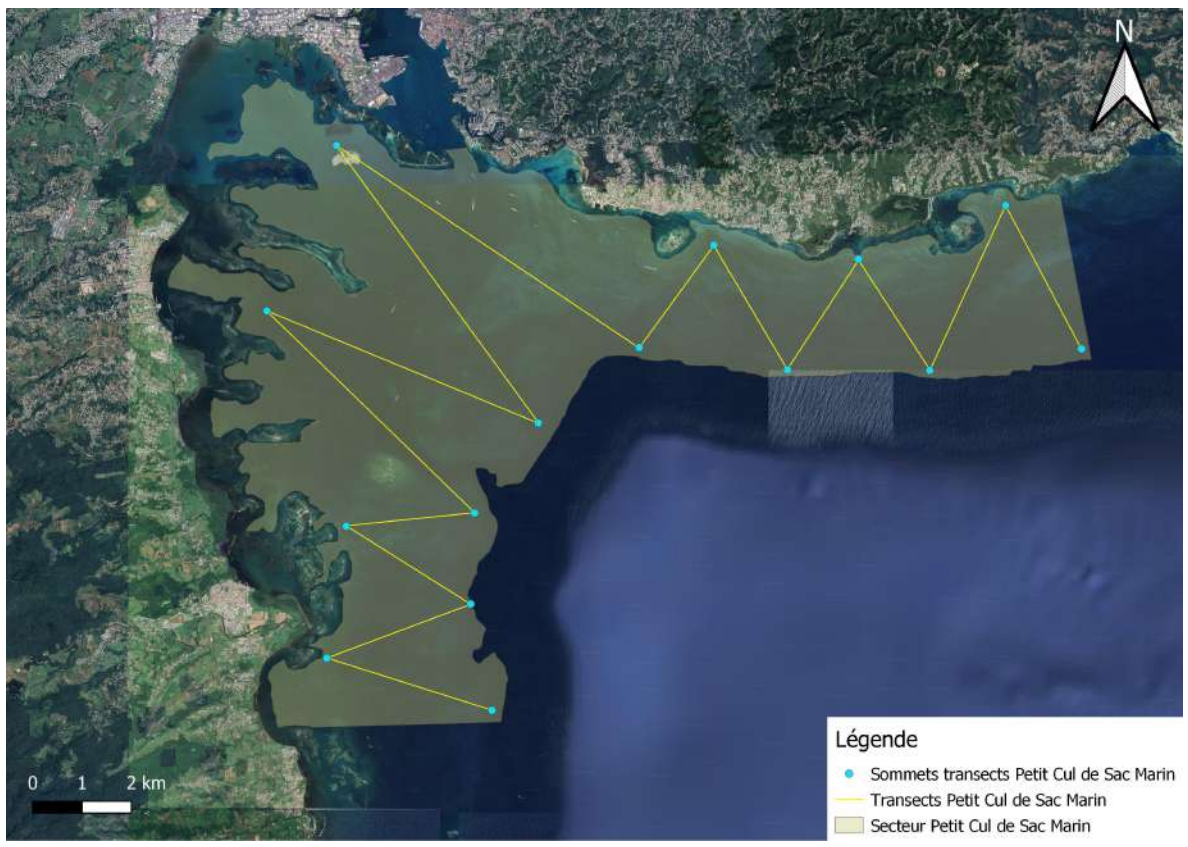


Figure 23 : Plan de vol proposé pour le Petit Cul de Sac Marin



Figure 24 : Plan de vol proposé pour la côte méridionale de Basse Terre

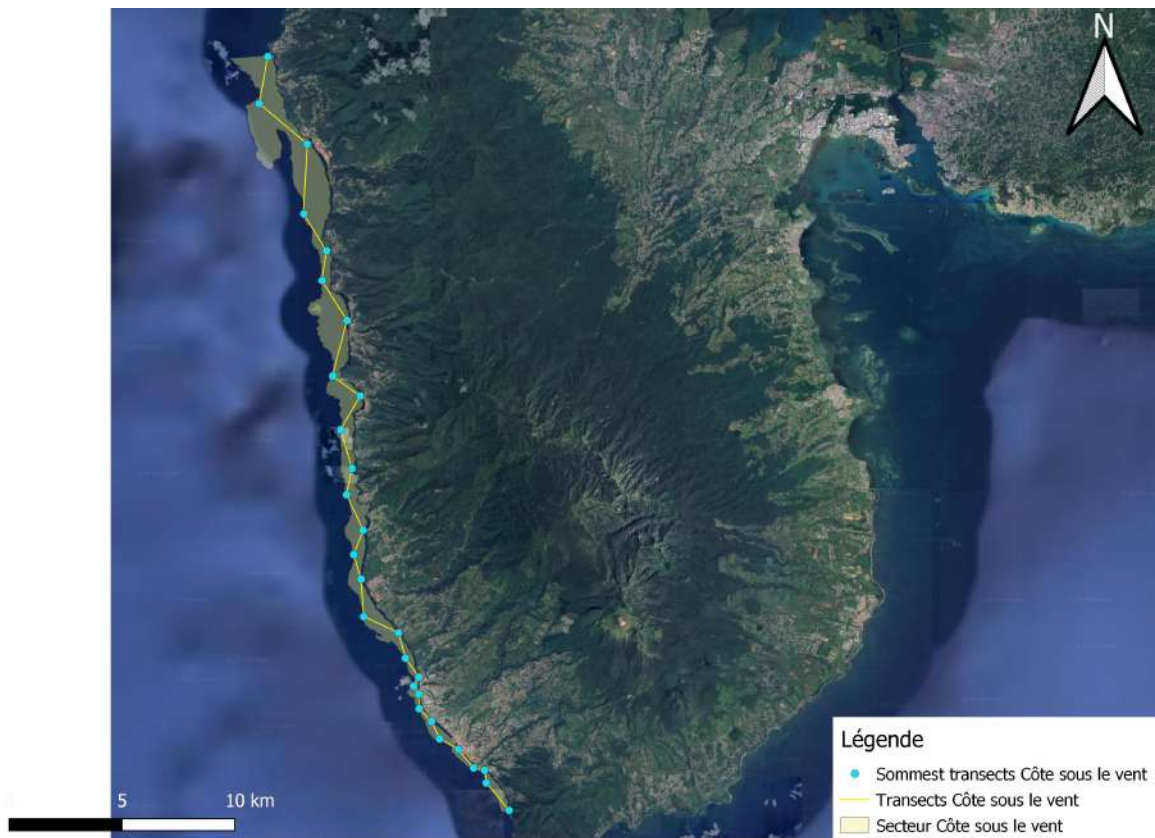


Figure 25 : Plan de vol proposé pour la côte sous le vent

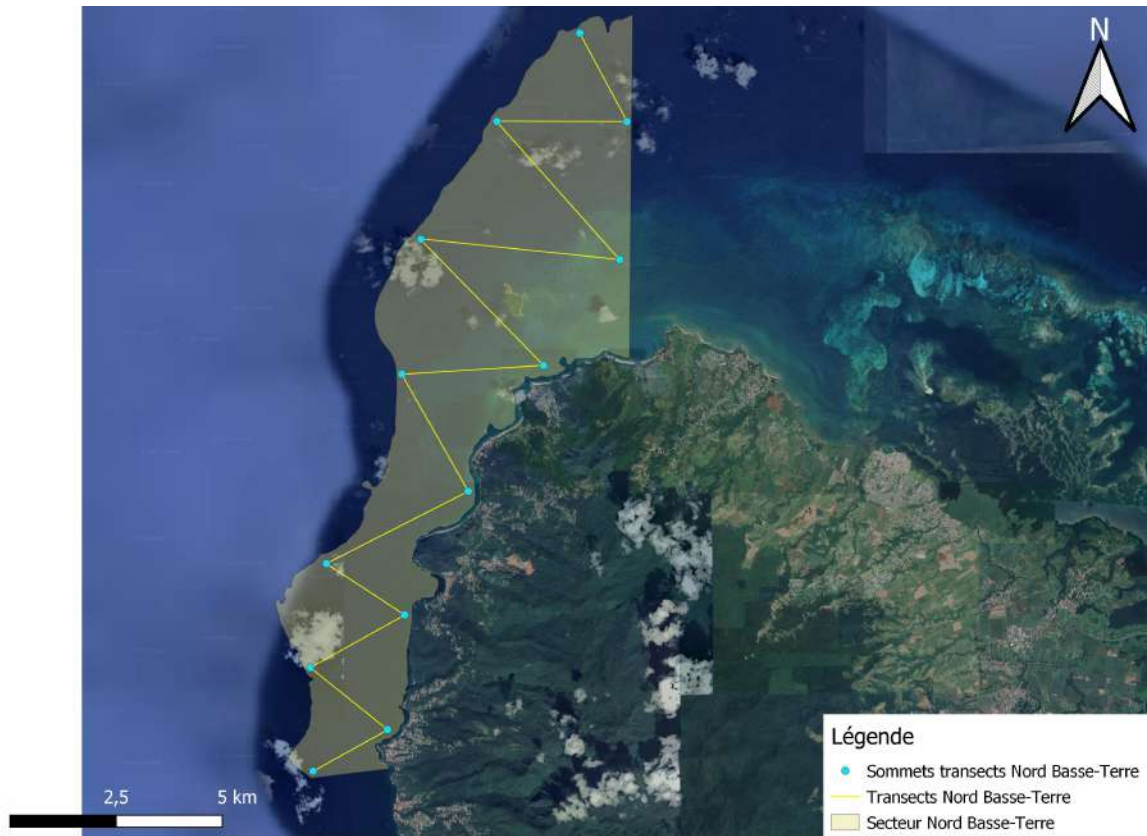


Figure 26 : Plan de vol proposé pour le Nord Basse Terre

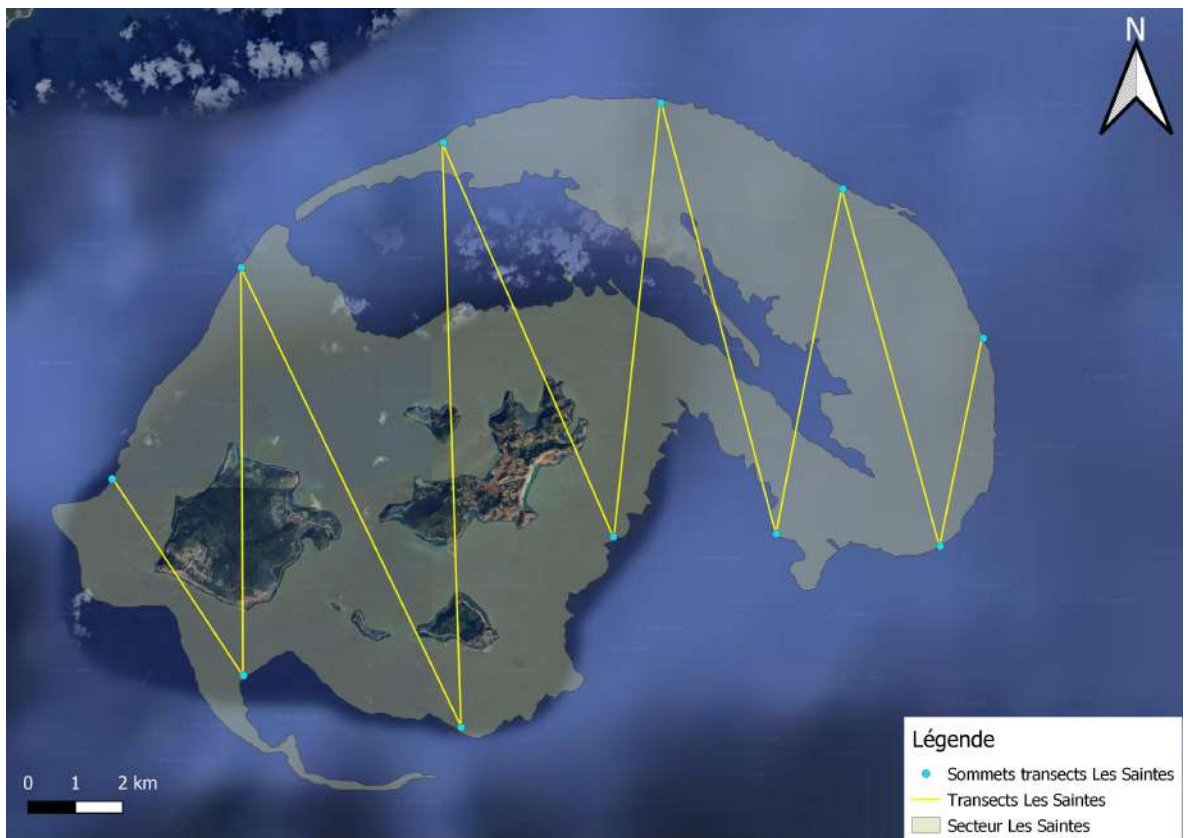


Figure 27 : Plan de vol proposé pour les Saintes



Figure 28 : Plan de vol proposé pour Marie-Galante

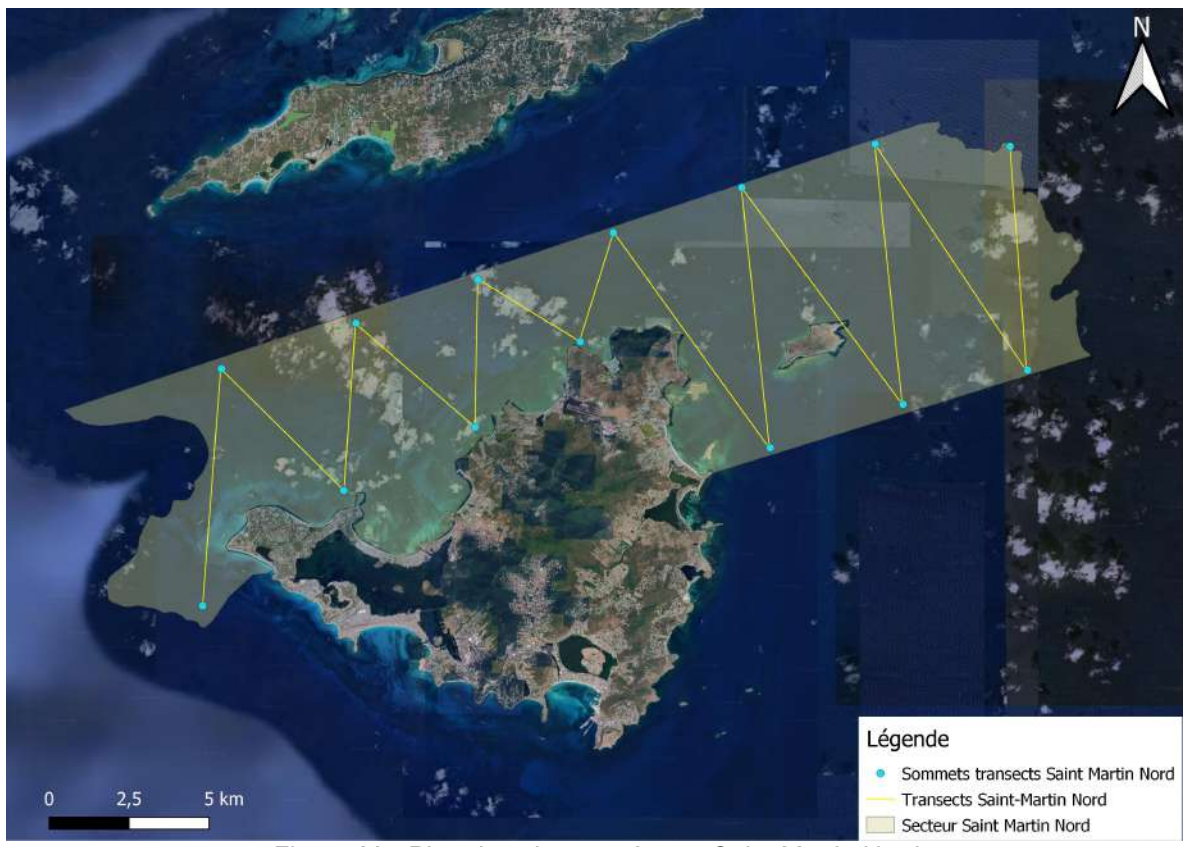


Figure 29 : Plan de vol proposé pour Saint Martin Nord

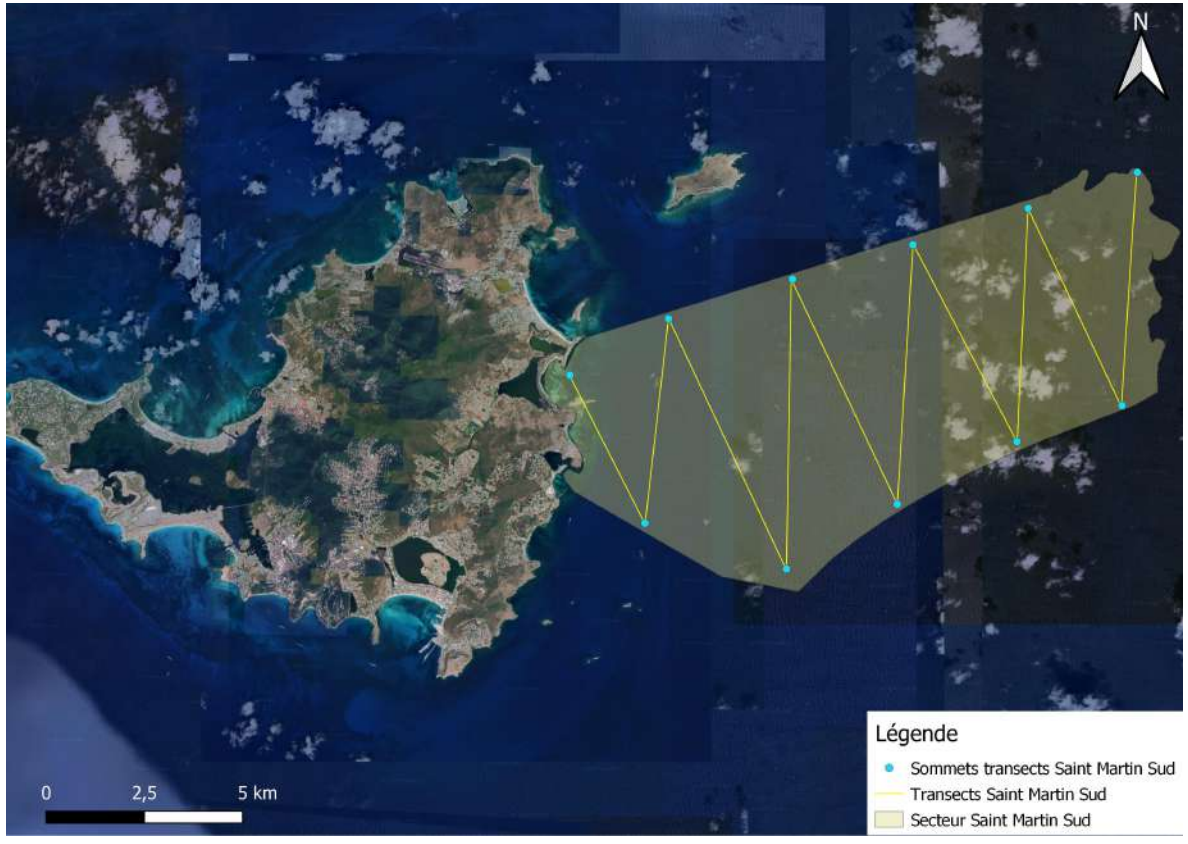


Figure 30 : Plan de vol proposé pour Saint Martin Sud

Évaluation des coûts pour la mise en œuvre d'un protocole de suivi aérien

Avant la mise en œuvre d'une stratégie de suivi pour répondre à des objectifs définis, il est nécessaire d'évaluer les besoins financiers, matériels et humains. Il est proposé une évaluation et une planification des besoins pour assurer la réalisation du protocole de suivi aérien afin de permettre une estimation financière adaptée à la stratégie mise en œuvre (Tableau 10). Seule une évaluation financière concernant les heures de vols comprenant le tarif d'utilisation de la machine et la prestation du pilote peut être estimée. Le coût humains (agents des services déconcentrés de l'état, gestionnaires ou prestataires privés) ne peut être estimé, seul le temps imparti à chaque tâche peut être évalué.

Tableau 10 : Évaluation des besoins pour la mise en œuvre de suivis aériens

Actions	Besoins humains et matériels	Mise en œuvre
Planification des survols	Une personne dédiée (contact téléphonique avec le prestataire) ½ journée à 1 journée selon le nombre de zones à prospecter, la fréquence et la durée des suivis	Dépendant de la disponibilité du pilote et de l'observateur Contraint par les conditions météorologiques
Réalisation des survols	Pilote + machine (prix estimé entre 250 et 200 €/h) Observateur (½ journée par vol)	Dépendant des conditions météorologiques Nombre et fréquence à prévoir en fonction des objectifs visés
Bancarisation des données	Une personne dédiée ½ journée par zone prospectée	Préparation d'un masque de saisies de données à récolter Dépendant du nombre d'observations réalisées
Cartographie des observations	Une personne dédiée (maitrise des logiciels de cartographie) ½ journée par zone prospectée	Réalisation d'une cartographie des observations par vol
Analyse des données	Une personne dédiée (maitrise des logiciels d'analyses statistiques) Temps dépendant des analyses effectuées répondant aux objectifs identifiés	Réalisation des analyses et des modèles correspondant aux objectifs des suivis

Les budgets présentés ci-dessous (Tableau 11 et Tableau 12), sont basés sur les temps de vols estimés par rapport aux distances des transects établis et les temps de déplacement (Aller-Retour) entre les aérodromes les plus proches et les secteurs survolés (Figure 1).

Tableau 11 : Estimation des budgets pour un vol sur chaque secteur pour l'archipel Guadeloupéen

Secteurs	Estimation du budget par vol (euros)
Grand Cul de Sac Marin	600
Nord Grande Terre	600
Côte au vent	400
Désirade	600
Côte méridionale Grande Terre	600
Petit Cul de Sac Marin	400
Côte méridionale Basse Terre	400
Côte sous le vent	400
Nord Basse Terre	600
Les Saintes	400
Marie-Galante	400

Tableau 12 : Estimation des budgets pour un vol sur chaque secteur pour Saint-Martin

Secteurs	Estimation du budget par vol (euros)
Saint Martin Nord	750
Saint Martin Sud	600

CONCLUSION

Cette étude de calibration du protocole de suivi des tortues marines par survols aériens, comme réalisée à la Réunion, a permis de mettre en évidence des limites de réalisations spécifiques aux territoires concernés. En effet, les contraintes de superficie de l'archipel guadeloupéen, la distance de la bathymétrie des 50 m à Saint-Martin ainsi que les conditions météorologiques rencontrées dans la Caraïbe ne permettent pas la réalisation à l'identique de ce protocole.

L'analyse de l'influence des paramètres environnementaux sur la détectabilité des tortues marines a permis d'identifier les contraintes à considérer pour déployer un protocole de survol aérien permettant d'identifier les zones de présence/absence de ces espèces entre la côte et la bathymétrie des 50 m pour l'archipel de Guadeloupe et la côte et la bathymétrie des 40 m pour Saint-Martin. Ainsi, d'un point de vue technique, il est proposé de réaliser les survols *via* un autogire avec un positionnement du pilote en avant de l'observateur. Pour limiter les biais de détection il est recommandé de ne pas considérer les zones de profondeurs inférieures à 5m et présentant un substrat non homogène. Aussi, afin de palier à l'impact de l'éblouissement il est recommandé de ne compter que d'un côté de l'appareil où il n'y a pas d'éblouissement, la disposition de l'autogire permet de changer de côté en fonction de l'orientation du transect mais aussi de se tenir à cette configuration de comptage même si l'éblouissement est absent pour assurer un même effort tout au long du suivi.

Concernant le biais opérateur, ce dernier n'a pu être testé du fait du budget attribué ne permettant pas d'assurer le nombre de vols suffisant avec les mêmes conditions effectuées par deux observateurs différents pour pouvoir tester l'influence de ce paramètre.

Parmi les secteurs et plans de vol proposés certains traversent les territoires d'espaces protégés (secteurs du Grand Cul de Sac Marin, de la Désirade, de la Côte sous le vent, Saint Martin Nord et Saint Martin Sud). Des demandes d'autorisations de survol à une altitude de 150 m au-dessus de ces territoires sont donc à anticiper avant la planification des survols. Il est également recommandé d'informer les gestionnaires des jours et horaires des vols.

L'identification à l'espèce n'a pu être testée durant cette étude, toutefois des prises de photos des individus rencontrés est conseillée pour un traitement *a posteriori*. Ces photographies pourront permettre d'affiner les analyses et potentiellement les indices d'abondance à l'espèce.

Il est à noter que la mise en œuvre de ce type de protocole peut être limité par le budget alloué. De ce fait et afin de répondre à des objectifs scientifiques définis, il est recommandé un dimensionnement d'une stratégie de suivi prenant en compte tous les paramètres techniques, humains, budgétaires et environnementaux permettant d'obtenir des résultats robustes et de répondre à des enjeux de conservation. Ainsi pour une acquisition de données suffisantes pour déterminer des zones de présence des tortues marines et estimer un indice d'abondance sur le long terme, il est suggéré la réalisation de dix vols par secteurs suivis et par année (5 en période de ponte et 5 hors période de ponte). La comparaison de ces deux périodes pourra ainsi permettre d'évaluer les abondances des populations résidentes en alimentation aux populations reproductives fréquentant les eaux côtières de l'archipel guadeloupéen et de Saint-Martin de façon saisonnière.

BIBLIOGRAPHIE

- Dorémus G., Laran S. & Van Canneyt O., 2020.** Guide méthodologique des campagnes d'observation aérienne de la mégafaune marine – Programmes REMMOA (Outre-mer) & SAMM (France métropole) – Cahier technique de l'Observatoire Pélagis. 60p.
- Eckert, K. L., Bjorndal K. A., Abreu-Grobois F.A., & Donnelly M., 1999.** Research and Management Techniques for the Conservation of Sea Turtles. IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group Publication No. 4.
- Jean C., Ciccione S., Ballorain K., Georges J-Y & Bourjea J., 2010.** Ultralight aircraft surveys reveal marine turtle population increases along the west coast of Reunion Island. *Oryx*. Vol. 44(22), p : 223-229.
- Kap Natirel, 2023.** Animation du protocole INA Scuba pour le suivi des tortues marines dur l'archipel guadeloupéen et Saint-Martin. Bilan année 2022.
- Lauriano G., Panigada S., Casale P., Pierantonio N. & Donovan G.P., 2011.** Aerial survey abundance estimates of the loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in the Pelagos Sanctuary, northwestern Mediterranean Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 437:291-302.
- Safi M., Leblanc H., Cotonea G, Duporge N., Ortolé C., Feunteun A. & de Montgolfier B. - 2021** – Identification et inventaire des populations de raies dans la baie de Fort-de-France (Martinique) – Rapport Finale – 32 p.
- Tortues Marines Guadeloupe (RTMG) 2019.** Bilan de la saison de ponte des tortues marines - Archipel guadeloupéen et Saint-Martin - Saison 2019