

Calibration et mise en œuvre d'un protocole de suivi de la population d'Iguane des Petites Antilles par comptage répété sur l'île de la Désirade



AVRIL 2024

Julie PAUWELS

Elodie COURTOIS

REMERCIEMENTS

Cette étude a été commandée par la Direction régionale de l'Office National des Forêts de Guadeloupe (ONF) et financée par la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) de Guadeloupe. Elle s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre du Plan National d'Actions en faveur de l'Iguane des petites Antilles 2018-2022.



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

Nous remercions l'association Titè, cogestionnaire de la Réserve Naturelle de La Désirade qui nous a permis d'utiliser la Kaz à Titè pendant la durée de la mission, ainsi que les personnels de l'association qui ont participé à la mission (Jean-Claude LALANNE, Sébastien RONADA et Léa SEBES).



Nous remercions le Parc amazonien de Guyane, le GEPOG et la Réserve Naturelle du Mont Grand Matoury de nous avoir prêté les télémètres et les inclinomètres pour la collecte des données.



Enfin, nous remercions Donatien de nous avoir prêté son vélo qui nous a été bien utile !



Citation recommandée

Pauwels J. & Courtois E. (2024) *Calibration et mise en œuvre d'un protocole de suivi de la population d'Iguane des Petites Antilles par comptage répété sur l'île de la Désirade*. 24 p.

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES.....	3
<i>Tableaux</i>	3
<i>Figures</i>	3
1 INTRODUCTION.....	4
1.1 CONTEXTE	4
1.2 OBJECTIFS ET PRESENTATION DES METHODES	4
2 PROTOCOLE DE CALIBRATION ET MISE EN OEUVRE.....	6
2.1 PROTOCOLE DE CALIBRATION DU SUMI	6
2.1.1 <i>Définition des transects</i>	6
2.1.2 <i>Définition de la méthodologie de comptage</i>	8
2.2 COLLECTE DES DONNEES	9
3 ANALYSE DES DONNEES	12
3.1 ANALYSES REALISEES	12
3.2 ANALYSE EN « <i>SITE OCCUPANCY</i> »	13
3.3 ANALYSE EN « <i>N-MIXTURE</i> »	15
3.4 ANALYSE EN « <i>DISTANCE SAMPLING</i> ».....	16
3.5 COMPARAISON DES METHODES.....	17
3.5.1 <i>Probabilité de détection</i>	17
3.5.2 <i>Estimations de densité</i>	18
3.6 ANALYSE DE PUISSANCE	19
4 PRECONISATION POUR L'IMPLEMENTATION D'UN SUMI SUR LE LONG TERME	21
4.1 IMPORTANCE DE LA PERENNISATION DU SUMI PAR CMR SUR LA POINTE COLIBRI.....	21
4.2 PROTOCOLE COMPLEMENTAIRE SUR LE RESTE DE L'ILE.....	21
REFERENCES.....	23

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1. Données collectées par parcours et par secteur	11
Tableau 2. Comparaison des modèles d'analyse en « Site occupancy » en prenant en compte ou non effet de la localisation (« loc ») sur la probabilité d'occupation (« phi ») et la probabilité de détection (« p »).	13
Tableau 3. Comparaison des modèles pour les analyses en « N-mixture ».	15

FIGURES

Figure 1. Parcours suivis dans le cadre du protocole. Les observations d'Iguane des petites Antilles (IPA) et d'Iguane commun (IC) sont issues pour la majorité des inventaires réalisés en 2015 (Angin & Guiougou, 2015) et en 2020 (Angin et al., 2021).	7
Figure 2. Localisation des iguanes le long du parcours. L'observateur se place perpendiculairement à l'individu en restant sur le parcours pour enregistrer le point GPS et mesurer la distance à l'individu (a et b) à l'aide du télémètre. Il reste à la même position et mesure l'angle entre le sol et l'individu avec l'inclinomètre (c) ou il se place directement en dessous de l'individu pour mesurer la hauteur à laquelle il est situé (c).	9
Figure 3. Répartition des observations sur les transects parcourus. Aucune observation n'ayant été faite sur les transects PLATEAU, ils ne sont pas représentés.	10
Figure 4. Histogramme des distances perpendiculaires aux transects (A) pour l'ensemble des observations (N=193) et (B) entre 0 et 10m.	13
Figure 5. Résultat des analyses en « Site occupancy ». A gauche la comparaison en prenant l'ensemble des transects ou seulement un transect sur 2 et à droite le résultat des simulations en prenant un nombre N croissant de transects. Le nombre de transects affichés sur le panneau de droite correspond au nombre total de transects disponibles..	14
Figure 6. Nombre d'individus par transect de 100 m dans chaque catégorie de localisation ..	16
Figure 7. Densité estimée par parcours par la méthode de « N-mixture » dans chaque secteur géographique.	16
Figure 8. Fonction de détection pour toutes les zones confondues et pour les 3 zones séparées (Pointe Colibri, Phare et secteur Centre).....	17
Figure 9. Comparaison des estimations de densité en « Distance sampling » et en « N-mixture » pour l'ensemble et pour les 3 zones séparées (Pointe Colibri, Phare zone Est et zone côtière). La ligne en pointillée au niveau des valeurs de la Pointe Colibri positionne l'estimation de la densité faites en CMR sur cette zone.	18
Figure 10. Analyse de puissance sur les jeux de données simulés sur une durée de 15 ans à gauche en « Site occupancy » et à droite en « N-mixture ». Les droites horizontales en pointillés figurent la limite d'une puissance de 0.8.	19

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Un suivi par Capture-Marquage-Recapture (CMR) de l'Iguane des petites Antilles *Iguana delicatissima* est mise en œuvre annuellement depuis 2012 pour la population située à l'Ouest de l'île de la Désirade. Ce protocole par CMR permet de suivre de manière fiable l'évolution des effectifs et les paramètres démographiques (taux de recrutement, probabilité de survie, etc.) de ce noyau de population. **Néanmoins, il ne rend pas compte de la tendance d'évolution des effectifs des populations sur le reste de l'île.** Implémenter un tel suivi sur l'ensemble des populations de l'île n'étant pas envisageable (coût logistique, humain et financier beaucoup trop élevé), le comité de pilotage du PNA IPA souhaite tester la mise en place d'un protocole **complémentaire et mené en parallèle de la CMR visant à suivre les variations spatiales et temporelles de l'occupation et des effectifs de l'espèce sur l'ensemble de l'île.** Pour cela, l'ONF a sollicité le test d'un protocole de suivi par comptage répété permettant d'évaluer la présence/absence et l'abondance moyenne de l'espèce sur des unités spatiales.

1.2 OBJECTIFS ET PRESENTATION DES METHODES

La présente étude a pour objectif prioritaire de proposer un **protocole permettant de suivre sur le long terme la population d'Iguane des petites Antilles *Iguana delicatissima* de La Désirade sur une grande superficie.** Ce protocole devra permettre de suivre les changements de distribution de l'espèce sur l'ensemble de l'île, et potentiellement des effectifs. Il sera complémentaire du protocole de capture-marquage-recapture (CMR) déployé depuis 2012 sur une surface de 10 ha à la Pointe des Colibris, à l'extrémité Ouest de La Désirade. Outre le suivi de la population d'Iguane des petites Antilles, ce protocole permettra également d'assurer une veille quant à la présence éventuelle d'iguanes invasifs, qu'il s'agisse de l'Iguane commun *I. iguana* ou d'hybrides.

Afin de répondre à cette demande, nous avons proposé dans cette étude le test d'un protocole de suivi à large échelle, basé sur des transects répartis sur l'ensemble de l'île de la Désirade. Nous avons décidé, après discussion avec les statisticiens du CEFE connaissant bien l'espèce (A. BESNARD et T. COUTURIER) et le contexte, de **tester un protocole hybride combinant des approches par « Site occupancy » (présence/absence), « N-mixture » (comptage répété) et « Distance sampling ».**

Les méthodes de « **Site occupancy** » (MacKenzie et al. 2002) s'intéressent à la distribution spatiale d'une espèce et à son éventuelle contraction ou expansion. Elles estiment la probabilité d'occupation de l'espèce sur un ensemble de sites en partant du principe que la probabilité de détection de l'espèce est souvent inférieure à 1 (espèce présente sur un site mais pas détectée lors de tous les passages). Elles impliquent des passages répétés sur plusieurs sites. Ces données permettent alors d'estimer la probabilité de détection de l'espèce, et d'en dériver sa probabilité d'occupation. Dans le cas d'un suivi sur le long terme, on utilise des modèles de « **Site occupancy dynamique** » (Mackenzie et al. 2009). Dans ce cas, on emboîte deux échelles de temps : la première (sessions secondaires) au sein d'une même saison, avec l'hypothèse qu'il n'y a pas de colonisation/extinction sur les sites échantillonnés au sein de la saison (sites fermés), et une deuxième échelle temporelle interannuelle (sessions primaires), qui accepte de fait une ouverture des sites, et qui va permettre d'estimer simultanément les taux d'occupation et de détection sur un site lors d'un passage, mais aussi les taux de colonisation et d'extinction sur les sites d'une année à l'autre.

Les méthodes de « *N-mixture* » basées sur des comptages nécessitent également de réaliser plusieurs visites sur plusieurs sites. Ces méthodes n'impliquent pas une reconnaissance individuelle des animaux, contrairement à des méthodes de CMR. Elles s'appuient uniquement sur le nombre d'individus contactés à chaque passage, et sur la variabilité de ces comptages (Royle 2004). Dans le cas d'un suivi sur le long terme, comme pour le « *Site occupancy dynamique* », deux échelles de temps sont s'emboîtées, avec l'hypothèse de populations fermées (pas de naissance, de mortalité, ni de phénomènes d'émigration-immigration d'individus) entre les comptages répétés (sessions secondaires), mais en populations ouvertes d'une année de comptage à l'autre (sessions primaires) (Kéry et al. 2005). Cette méthode permet d'estimer un taux de croissance annuel des effectifs de la population (Hostetler & Chandler 2015).

Le « *Distance sampling* » est une méthodologie largement utilisée pour estimer la densité ou l'abondance d'une espèce en utilisant les distances mesurées entre les individus et l'observateur positionné sur des points ou des transects. Dans le cas de transects, les distances perpendiculaires aux animaux détectés sont mesurées, tandis que dans le cas de points, on utilise les distances radiales. La méthode se base sur le fait que la probabilité de détecter un animal diminue à mesure que sa distance par rapport à l'observateur augmente. On utilise les distances mesurées sur le terrain pour paramétrer une fonction de détection, qui modélise la probabilité de détecter un animal, compte tenu de sa distance par rapport au transect. Cette information permet alors d'estimer la densité des individus dans une zone géographique donnée.

2 PROTOCOLE DE CALIBRATION ET MISE EN OEUVRE

2.1 PROTOCOLE DE CALIBRATION DU SUIVI

2.1.1 DEFINITION DES TRANSECTS

Nous avons défini des transects comme unités d'échantillonnage. Ces transects ont été établis a posteriori de la période de terrain, par découpage du linéaire du parcours des observateurs en tronçons de longueurs égales. Les parcours sont répartis sur l'ensemble de l'île et stratifiés par zones géographiques (Figure 1). Ils ont été sélectionnés selon plusieurs critères. L'objectif premier est de les **répartir sur toute l'île** afin d'avoir un indice de suivi de l'évolution de la présence et/ou de l'abondance d'Iguane des petites Antilles représentatif de l'ensemble du territoire. Un tel suivi implique une répétition à l'identique des parcours d'années en années. Nous avons donc sélectionné des parcours qui **ne posent pas de conflit d'usage** afin de garantir leur accès et assurer ainsi la pérennité du suivi. Enfin, les parcours ont été positionnés à la fois sur des zones où **la présence d'individu est inconnue ou très rare** (notamment sur le plateau) et sur des zones où **la présence d'individus est connue mais non suivie à ce jour**. Cette information a été obtenue grâce aux données d'occurrences acquises notamment aux cours des travaux d'inventaire réalisés en 2015 (Angin & Guiougou, 2015) et en 2020 (Angin et al., 2021) (Figure 1).

Le parcours de la Pointe Colibri a été tracé de façon à **recouper la zone de capture de la CMR** pour permettre une comparaison des résultats obtenus avec les deux types de suivi et potentiellement d'en faire une analyse statistique conjointe dans le futur.

Ainsi, 10 parcours ont été définis pour une longueur totale de plus de 16 km et répartis sur quatre secteurs : l'Ouest, le Centre (zone côtière), l'Est et le Plateau (Figure 1).

2.1.2 DEFINITION DE LA METHODOLOGIE DE COMPTAGE

Le suivi est réalisé entre 8h et 17h lorsque les conditions météo sont favorables (pas de pluie). L'observateur suit le parcours à une vitesse lente (~1 km/h) et sans retour en arrière. Il peut cependant regarder en arrière pour bien scruter la végétation. L'observateur est muni d'une paire de jumelles qu'il utilise pour valider l'observation d'individus et relever des informations spécifiques (sexe, âge). Lorsque l'observateur est accompagné d'un binôme, celui-ci ne participe pas aux observations. Si le binôme observe des iguanes non repérés par l'observateur, ils peuvent être notés, mais ils ne sont pas pris en compte dans les données de comptage répété.

Note : Nous avons fait le choix d'un protocole avec un seul observateur, car il est approprié à la faible densité d'iguanes sur le territoire et permet d'avoir un protocole nécessitant peu de moyens humains.

Pour chaque parcours, l'observateur note :

- Le **nom de l'observateur** et du binôme s'il y en a un, en précisant bien le rôle de chacun ;
- La **date** ;
- Le **nom du parcours** ;
- La **météo** au début du suivi et au cours du suivi s'il y a un changement (en notant l'heure) ;
- L'**heure de début et fin** du suivi.

Si le suivi doit être interrompu (par exemple à cause d'une averse), on note l'heure d'interruption et l'heure de reprise.

A chaque observation d'un iguane, l'observateur note :

- L'**heure de l'observation** ;
- Le **point GPS** où l'observateur est sur le parcours en se positionnant perpendiculairement à l'individu observé (Figure 2) ;
- La **distance à l'individu**, mesurée avec le télémètre, toujours en se plaçant perpendiculairement à l'individu (Figure 2) ;
- Soit la **hauteur à laquelle est située l'individu**, mesurée avec le télémètre, en se plaçant en dessous de l'individu (Figure 2). Dans le cas où la prise d'une mesure précise est impossible (impossibilité physique d'accéder au pied de l'arbre par exemple), une estimation de la hauteur sera indiquée. Soit l'**angle entre le sol et l'individu**, mesuré avec un inclinomètre, en restant sur le transect et en se plaçant perpendiculairement à l'individu (Figure 2) ;
- Le **support** de l'individu (sol, bâti, végétation) ;
- Si possible, la **classe d'âge** (juvénile, subadulte, adulte) et le **sexe** de l'individu.

Les données de terrain ont été recueillies sur smartphone à l'aide d'un formulaire numérique Kobo Toolbox (voir Annexe 1).

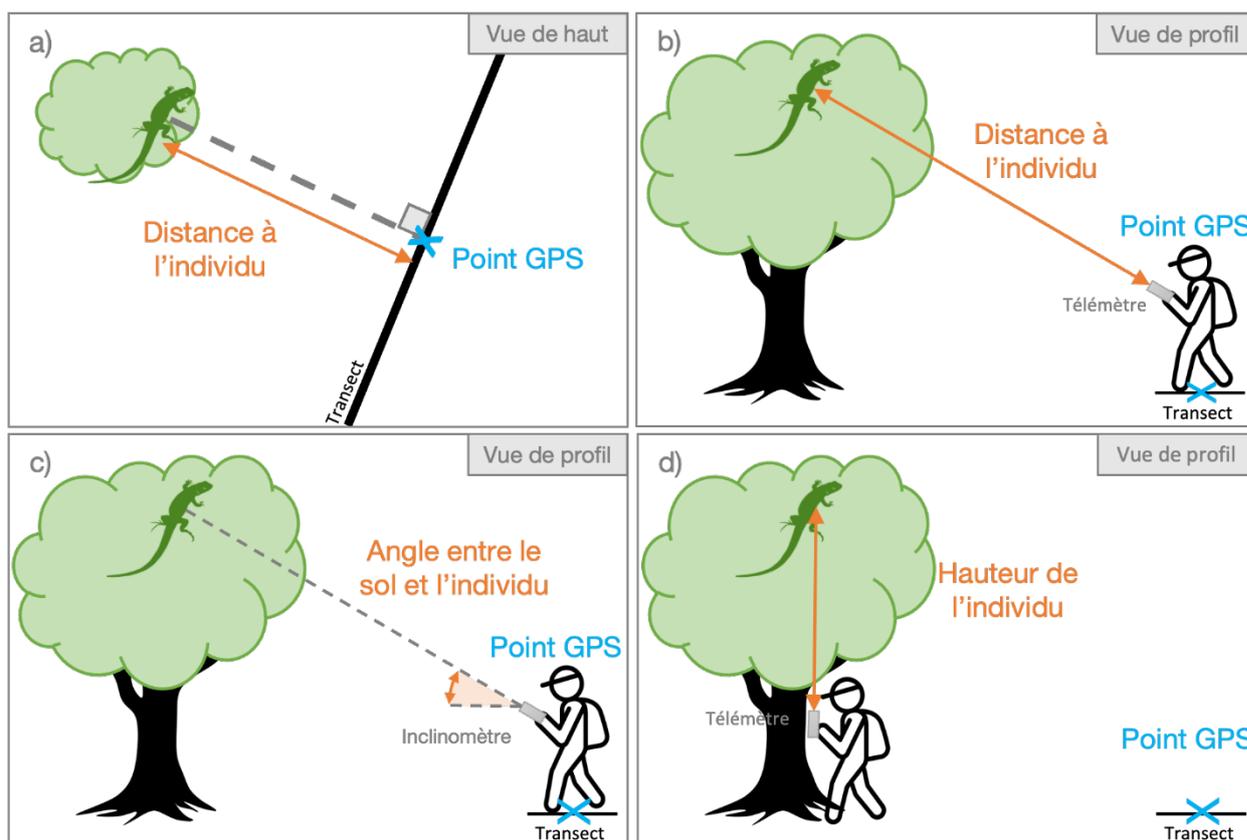


Figure 2. Localisation des iguanes le long du parcours. L'observateur se place perpendiculairement à l'individu en restant sur le parcours pour enregistrer le point GPS et mesurer la distance à l'individu (a et b) à l'aide du télémètre. Il reste à la même position et mesure l'angle entre le sol et l'individu avec l'inclinomètre (c) ou il se place directement en dessous de l'individu pour mesurer la hauteur à laquelle il est situé (d).

2.2 COLLECTE DES DONNEES

Les données ont été collectées entre le 26 et le 31 janvier 2024 (**6 jours**). La météo a été pluvieuse sur plusieurs demi-journées, mais nous avons réussi à réaliser l'ensemble des suivis nécessaires. Au total, la phase de terrain a permis de faire **193 observations** d'iguane des Petites Antilles (Figure 3).

Les observateurs ayant réalisé les suivis sont Julie PAUWELS, Elodie COURTOIS, Jean-Claude LALANNE (Titè) et Sébastien RONADA (Titè), avec la participation de Léa SEBESI (Titè).

L'objectif de faire 5 passages par parcours a été atteint et même dépassé pour tous les parcours des secteurs Ouest, Centre et Est (Tableau 1). En l'absence d'observations sur les parcours du Plateau, tous les passages n'ont pas été effectués et nous avons choisi de faire des passages supplémentaires sur les autres secteurs. Le parcours de la Ravine au centre du plateau n'a été suivi qu'une seule fois, car le chemin qui existait a été détruit par les tempêtes récentes et la progression dans la ravine est devenue très compliquée. Ce parcours n'a donc pas été inclus dans les analyses. Aucune observation n'a été faite sur ce transect au cours de la prospection mais une observation a été faite sur la côte Nord en dehors du suivi (donnée intégrée à la BDD). À titre indicatif, l'effort cumulé dans le cadre de cette étude représente 83 km de transect parcourus (cf. détail en Tableau 1).

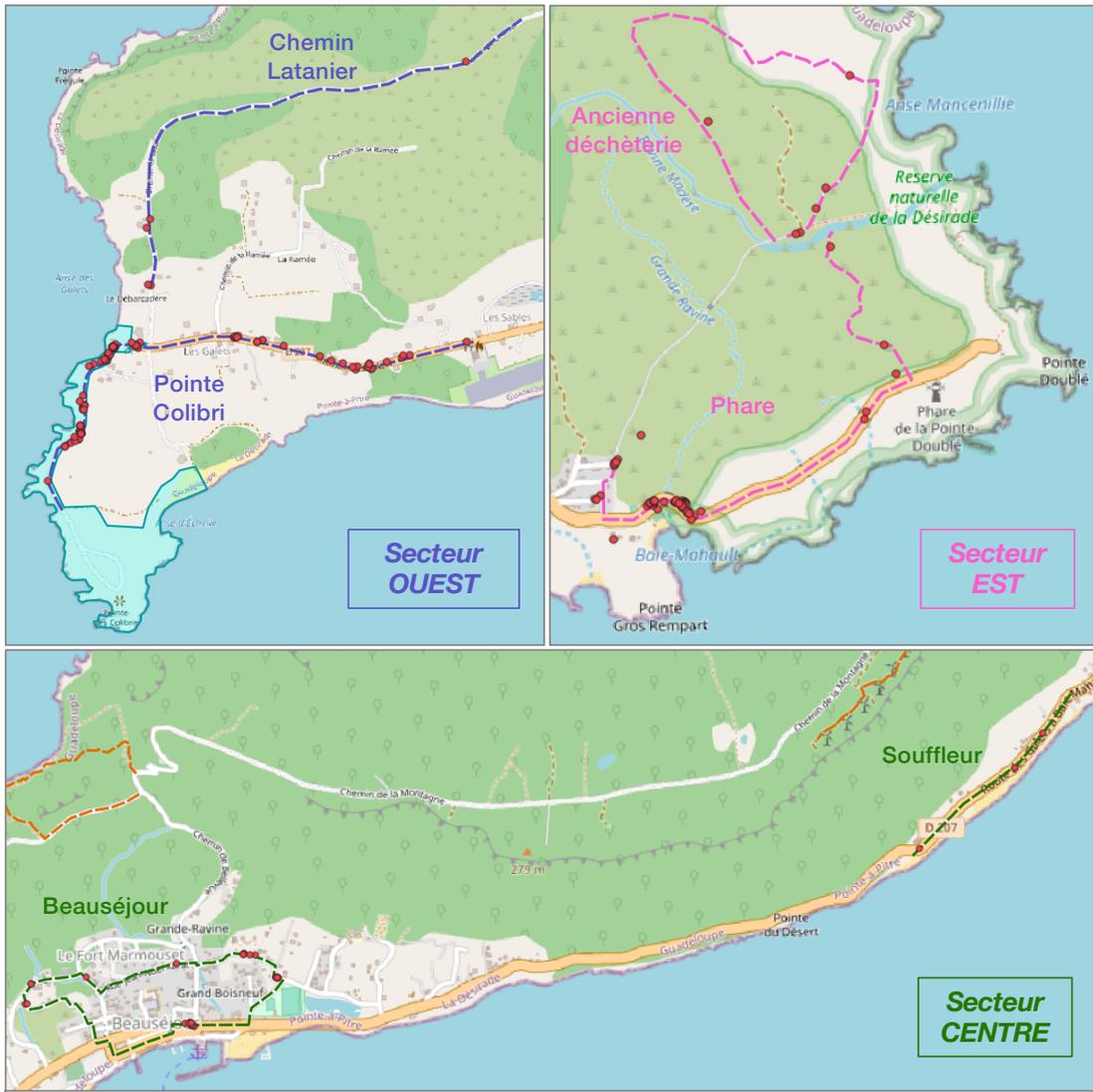


Figure 3. Répartition des observations sur les transects parcourus. Aucune observation n'ayant été faite sur les transects PLATEAU, ils ne sont pas représentés.

Tableau 1. Données collectées par parcours et par secteur

	Transect	Longueur (m)	Nb de répétitions	Nb total d'IPA observé
Secteur OUEST	Pointe Colibri	1547	6	92
	Chemin Latanier	1518	6	5
	Total OUEST	3065		97
Secteur CENTRE	Beauséjour	2556	6	26
	Souffleur	877	6	3
	Total CENTRE	3433		29
Secteur EST	Ancienne déchetterie	2325	6	6
	Phare	2022	7	61
	Total EST	4347		67
Secteur PLATEAU	Sentier Grand Nord	1809	4	0
	Antenne relais	911	4	0
	Éoliennes Souffleur	664	5	0
	<i>Ravine centre plateau</i>	<i>2011</i>	<i>1</i>	<i>0</i>
	Total PLATEAU	5395		0
TOTAL		16 240		193

L'ensemble des données collectées au cours des suivis ainsi que des données opportunistes recueillies au cours de la phase de repérage et pendant la semaine de terrain sont transmises avec ce rapport dans un format compatible avec la base de données Karunati.

Veille écologique

Aucun individu d'Iguane commun ou d'hybride n'a été observé au cours des prospections.

Deux cadavres d'iguanes ont été observés à proximité sur la route (voir base de données pour les localisations). La mortalité est vraisemblablement due à des collisions avec des véhicules.

3 ANALYSE DES DONNEES

3.1 ANALYSES REALISEES

Nous avons réalisé trois types d'analyses avec le jeu de données généré par cette étude :

- Analyse en « **Site occupancy** » : cette analyse permet d'estimer la probabilité qu'un transect soit occupé ou non par au moins un individu (**présence/absence**) ;
- Analyse en « **N-mixture** » : cette analyse permet d'estimer l'**abondance** (le nombre d'individus) par transect ;
- Analyse en « **Distance sampling** » : cette analyse permet d'estimer la **densité** d'individus par surface prospectée.

Pour réaliser les analyses en « **Site occupancy** » et en « **N-mixture** », les parcours ont été redécoupés en transects de 100m, soit 139 transects au total répartis sur les quatre secteurs géographiques :

- Secteur Ouest – Pointe Colibri & Chemin Latanier : 30 transects ;
- Secteur Centre – Beauséjour & Souffleur : 33 transects ;
- Secteur Est – Phare et Ancienne déchetterie : 43 transects ;
- Secteur Plateau – Antenne relais, Éoliennes Souffleur & Sentier Grand Nord : 33 transects.

Pour l'ensemble des analyses, nous avons conservé uniquement les données concernant les individus adultes et subadultes, et au maximum 6 passages par transect, soit **177 données d'observation d'iguanes** au total.

Distribution des distances d'observation

L'histogramme des distances de détection devrait présenter une répartition décroissante avec plus d'individus aux plus faibles distances, et de moins en moins au fur et à mesure que la distance d'observation augmente. L'histogramme des distances de détection mesurées dans cette étude présente un profil « en cloche » avec moins d'observations entre 0 et 5m qu'entre 5 et 10m (Figure 4 (A)). Ce profil « en cloche » est typiquement observé lors d'un comportement de fuite des individus à l'arrivée de l'observateur. D'après nos observations de terrain, nous estimons que cet effet est plutôt dû à un milieu moins propice pour les iguanes à faible distance de l'observateur, la majorité des parcours étant réalisés sur des chemins et routes carrossables larges de plusieurs mètres. Nous avons fait très peu d'observations sur la route, les iguanes étant principalement dans la végétation aux abords de la route. Afin de s'affranchir de cette caractéristique pour l'analyse en « **Distance sampling** », nous avons regroupé les données en trois classes de distance (voir plus bas, 3.4).

Le nombre d'individus dans la zone entre 0 et 10 m du transect augmente jusqu'à une distance de 8 m et diminue fortement à partir de 9m (Figure 4). Pour les analyses en « **Site occupancy** » et en « **N-mixture** », nous avons donc décidé de conserver les données de détection dans une bande de 8 m de chaque côté du transect.

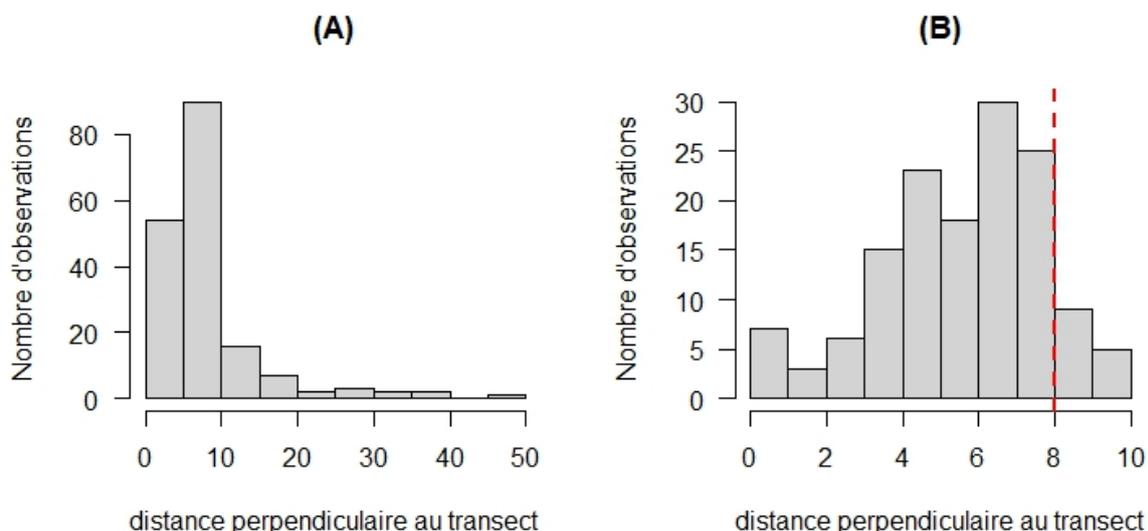


Figure 4. Histogramme des distances perpendiculaires aux transects (A) pour l'ensemble des observations (N=193) et (B) entre 0 et 10m.

3.2 ANALYSE EN « SITE OCCUPANCY »

Dans une analyse en « *Site occupancy* », on ne considère pas l'effet potentiel de la distance de l'individu à l'observateur sur la probabilité de détection. Nous avons donc gardé uniquement les données dans une bande de 8 m de chaque côté du transect (N=127) (Figure 4).

Nous avons comparé 4 modèles prenant en compte ou non un effet de la localisation (4 secteurs) sur les probabilités de détection et d'occupation. Le modèle le plus parcimonieux est celui prenant en compte un **effet de la localisation sur la probabilité d'occupation, la probabilité de détection étant la même pour tous les secteurs** (Tableau 2).

Tableau 2. Comparaison des modèles d'analyse en « *Site occupancy* » en prenant en compte ou non effet de la localisation (« loc ») sur la probabilité d'occupation (« phi ») et la probabilité de détection (« p »).

Modèle	Paramètres	AIC	Delta AIC
phi(loc) p(.)	5	367.5	0.0
phi(loc) p(loc)	8	369.7	2.2
phi(.) p(loc)	5	371.3	3.8
phi(.) p(.)	2	388.1	20.6

Probabilité de détection

Le meilleur modèle fournit une estimation de la **probabilité de détection de 0,37 [IC95% : 0,30-0,46]**. C'est-à-dire que l'observateur a en moyenne 37% de chance de détecter au moins un iguane lorsque le transect est occupé par l'espèce.

Probabilité d'occupation

La probabilité d'occupation est nulle pour le secteur Plateau puisqu'aucune observation n'a été réalisée durant le suivi sur les parcours de cette zone. Néanmoins, les données de prospection montrent que l'espèce y est présente (Angin & Guiougou, 2015, Angin et al., 2021), mais en très faible densité. Une observation hors-suivi a été faite sur ce secteur pendant la phase de terrain (voir données). Il est par ailleurs probable que la capacité de l'observateur à détecter des individus soit très faible dans ce contexte très forestier.

Pour les trois autres secteurs, la probabilité d'occupation (c'est-à-dire la probabilité qu'un linéaire de 100 m soit occupé par l'espèce) varie entre **0,16 [IC95% : 0,07-0,33] pour le secteur Centre** et **0,50 [IC95% : 0,31-0,67] pour le secteur Ouest** avec une valeur intermédiaire de **0,27 [IC95% : 0,15-0,43] pour le secteur Est**

Simulations

Nous avons réalisé des simulations afin d'estimer la perte de précision dans l'estimation des probabilités d'occupation lorsqu'on diminue le nombre de transects réalisés. Pour l'ensemble des simulations, nous avons utilisé le modèle sélectionné (voir plus haut) prenant en compte un effet de la localisation sur la probabilité d'occupation.

Pour ces simulations, nous avons dégradé le jeu de données de 2 manières :

- En ne gardant qu'un transect sur 2. Les transects conservés sont ainsi espacés de 100m les uns des autres ;
- En prenant aléatoirement 10, 20, 30 ou la totalité des transects (100 simulations) dans chaque secteur géographique, afin d'évaluer la perte d'informations en diminuant le nombre de transects.

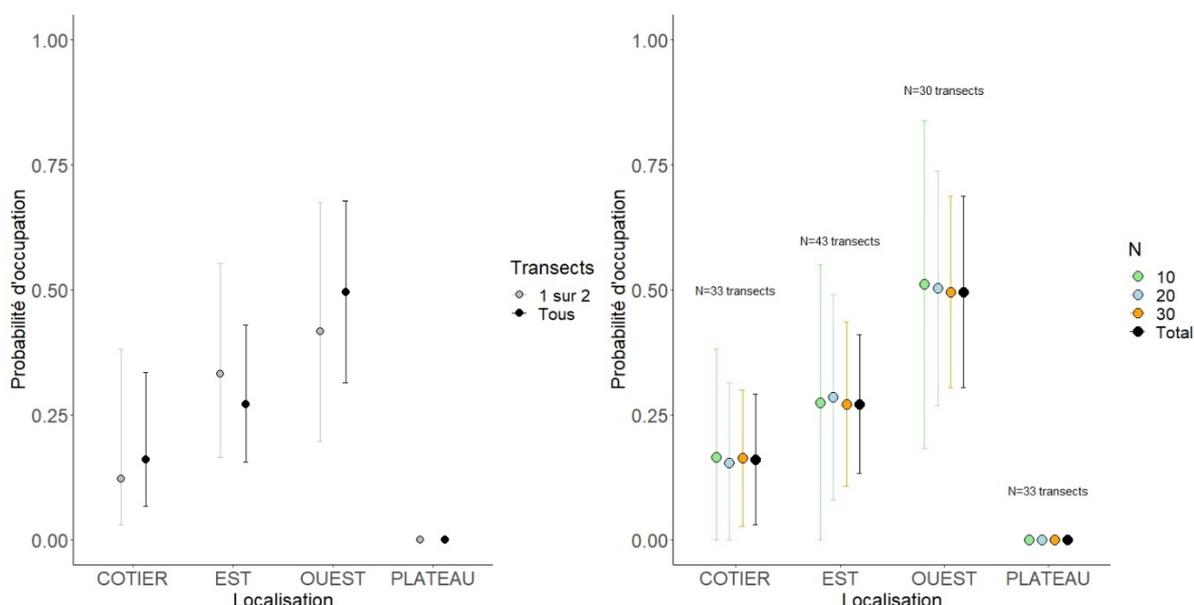


Figure 5. Résultat des analyses en « Site occupancy ». A gauche, la comparaison en prenant l'ensemble des transects ou seulement un transect sur 2 ; à droite, le résultat des simulations en prenant un nombre N croissant de transects. Le nombre de transects affichés sur le panneau de droite correspond au nombre total de transects disponibles.

Dans les deux simulations, augmenter le nombre de transects améliore la précision des estimations (l'intervalle de confiance à 95% diminue) (Figure 5). Par ailleurs, la probabilité de détection en utilisant un transect sur deux est estimée à 0,42 [IC95% : 0,31 - 0,53], elle n'est donc pas différente de la probabilité de détection avec l'ensemble des transects (0,37 [IC95% :

0,30-0,46]). En réalisant moins de transects, la probabilité de détection estimée reste donc la même mais la précision est moins bonne.

3.3 ANALYSE EN « *N-MIXTURE* »

De même que pour l'analyse en « *Site occupancy* », la probabilité de détection est considérée comme identique quelle que soit la distance de l'individu à l'observateur dans une analyse en « *N-mixture* ». Nous avons donc utilisé pour cette analyse, le même jeu de données que pour l'analyse en « *Site occupancy* » (139 transects de 100m, 4 secteurs géographiques, entre 4 et 6 passages, uniquement dans une bande de 8m, uniquement adultes et subadultes). Nous avons comparé 4 modèles prenant en compte ou non l'effet de la localisation (4 secteurs) sur les probabilités de détection et l'abondance moyenne. Le modèle le plus parcimonieux est celui prenant en compte un **effet de la localisation sur l'abondance moyenne** (Tableau 3).

Tableau 3. Comparaison des modèles pour les analyses en « *N-mixture* ».

Modèle	Paramètres	AIC	Delta AIC
phi(1oc) p(1oc)	8	639.5	0.0
phi(1oc) p(.)	5	639.8	0.3
phi(.) p(1oc)	5	648.7	9.2
phi(.) p(.)	2	686.6	47.1

Probabilité de détection

La probabilité de détection d'un individu estimée par le modèle en « *N-mixture* » est de **0,23** [IC95% : **0,17-0,29**]. Cette probabilité de détection est typiquement inférieure à celle estimée avec les modèles de « *Site occupancy* » puisqu'elle représente la probabilité de détecter un individu donné (et non pas au moins un individu parmi ceux occupant le transect).

Abondance par transect et densité moyenne

En utilisant ce modèle, on estime que le nombre d'individus par transect de 100m varie entre 0 et 13 individus avec une forte variabilité par transects (Figure 6). Nous avons ensuite réalisé l'estimation des densités moyennes par parcours en divisant le nombre d'individus par une bande de 16m (Figure 7). Les intervalles de confiance ont été estimés par bootstrap.

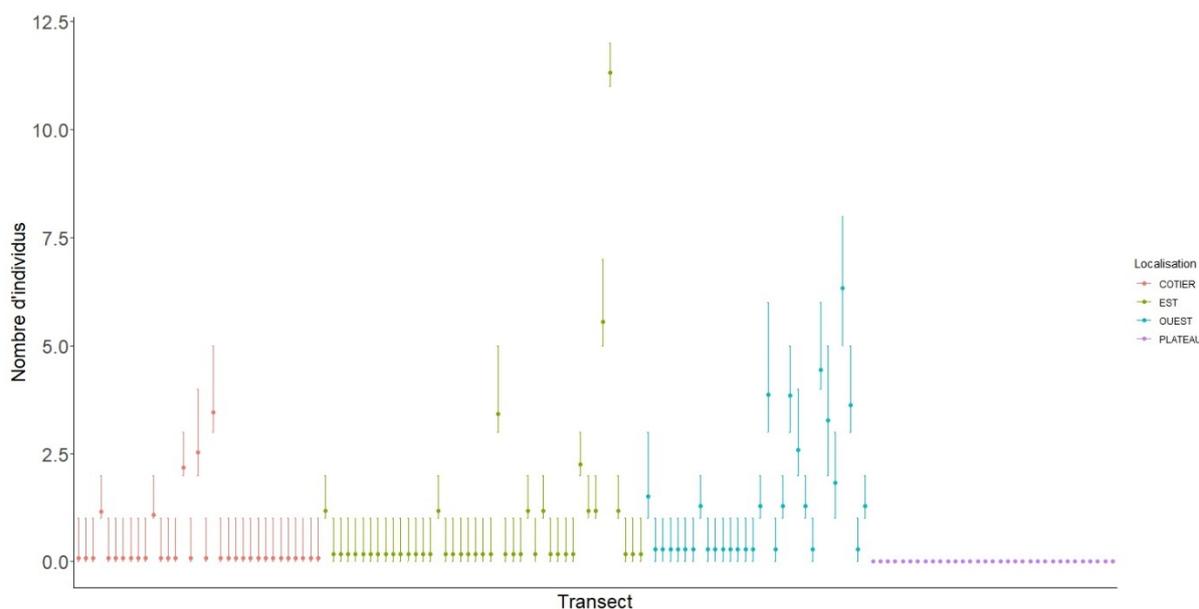


Figure 6. Nombre d'individus par transect de 100 m dans chaque catégorie de localisation

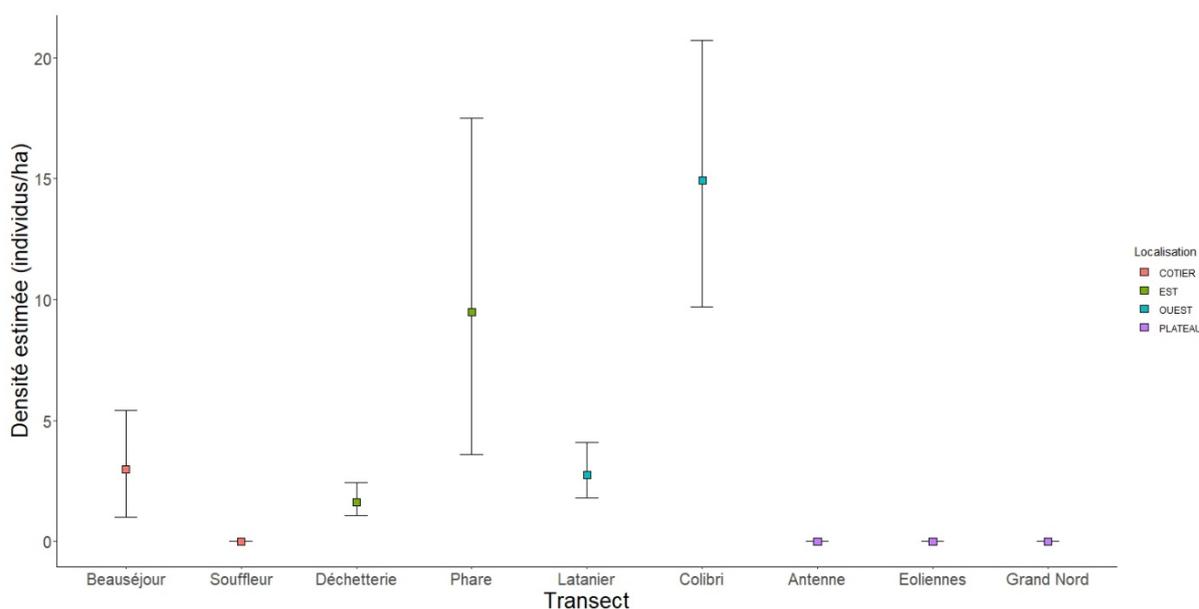


Figure 7. Densité estimée par parcours par la méthode de « *N-mixture* » dans chaque secteur géographique.

3.4 ANALYSE EN « *DISTANCE SAMPLING* »

Pour les analyses en « *Distance sampling* », on utilise le fait que la probabilité de détection est dépendante de la distance de l'observation : plus un iguane est loin de l'observateur, moins il a de chance d'être détecté. L'analyse en « *Distance sampling* » nécessite donc une quantité suffisante de données d'observations afin de paramétrer une fonction de détection caractéristique de la zone étudiée. Nous avons donc pu utiliser les données de 4 parcours pour cette analyse (**N=162 observations**) : Ouest – Pointe Colibri, Est – Phare, Centre – Souffleur et Centre – Beauséjour. Nous avons estimé une densité moyenne sur ces 4 transects puis les avons analysés en 3 zones : le parcours de la pointe Colibri (N=82 observations), le parcours du Phare

au sein de la réserve de la Désirade (N=52 observations) et le secteur Centre en utilisant les parcours Souffleur et Beauséjour (N=28 observations).

Afin de s'affranchir de la forme de l'histogramme des détections avec une augmentation des observations pour des distances intermédiaires (Figure 3), nous avons réalisé une modification des données de distance en faisant 3 classes de distances : [0-7m], [7-14m] et [14-21m]. Nous avons étudié visuellement plusieurs fonctions de détection et utilisé la fonction « hazard » sans paramètres d'ajustement (Figure 8).

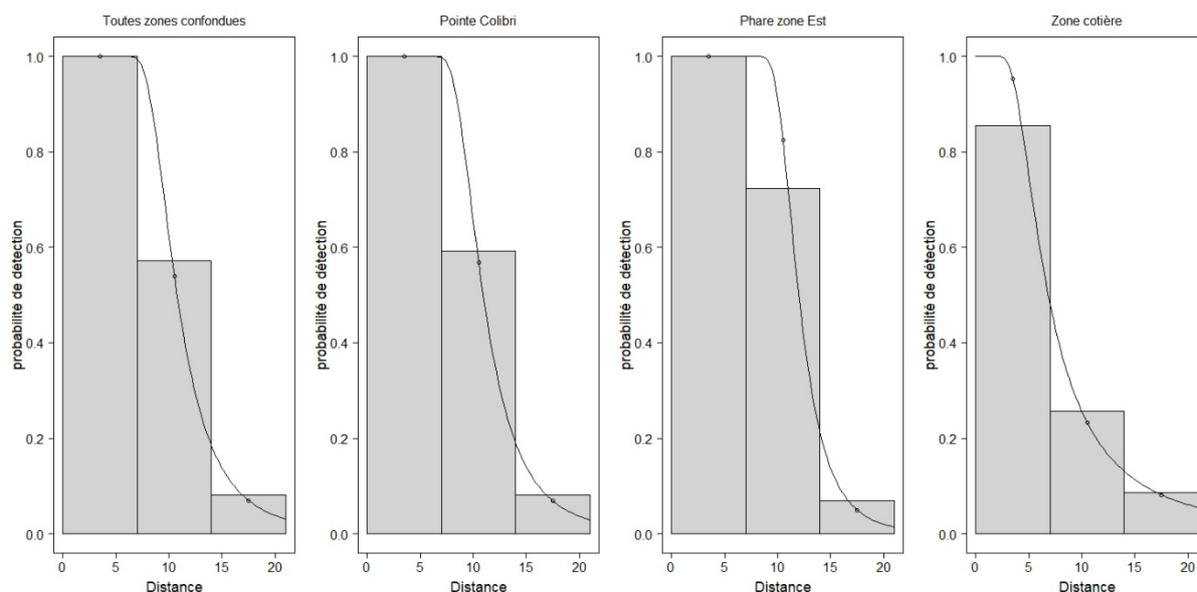


Figure 8. Fonction de détection pour toutes les zones confondues et pour les 3 zones séparées (Pointe Colibri, Phare et secteur Centre).

Densité moyenne

La densité moyenne en utilisant les 4 zones est de **10 [IC95% : 8,3-11,6] individus / ha**. En estimant séparément pour les 3 zones, on retrouve une densité la plus faible pour le secteur Centre avec 4,8 [IC95% : 0,5-9,2] individus/ha, maximale pour le parcours Pointe Colibri avec 22,6 [IC95% : 17,4-27,8] individus /ha, et intermédiaire pour le parcours Phare à l'Est de l'île avec 10,2 [IC95% : 7,2-13,2] individus /ha.

3.5 COMPARAISON DES METHODES

3.5.1 PROBABILITE DE DETECTION

La probabilité de détection en « *Site occupancy* » est estimée à **0,37 [IC95% : 0,30-0,46]**. Avec cette probabilité de détection, **cinq passages** sont nécessaires pour avoir une probabilité de 90% de détecter l'espèce si elle est présente sur le transect. Ceci se calcule avec la formule suivante :

$$K = \frac{\log(1-p)}{\log(1-p')}$$
 où K est le nombre de passages, p la puissance (0,90) que l'on souhaite atteindre et p' la probabilité de détection estimée dans la population (Mackenzie & Royle, 2005).

La probabilité de détection estimée avec le modèle de « *N-mixture* » est de **0,23** [IC95% : 0,17-0,29]. Cette probabilité semble légèrement inférieure mais non différente statistiquement (recoupement des intervalles de confiance) à celles estimée sur la population de Petite Terre qui variait de **0,28** [IC95% : 0,26-0,30] en 2013 à **0,49** [IC95% : 0,26 – 0,52] en 2019 (Warret Rodrigues et al, 2023).

3.5.2 ESTIMATIONS DE DENSITE

Afin de comparer les estimations faites avec les analyses en « *N-mixture* » et en « *Distance sampling* », nous avons ramené l'ensemble des estimations à une densité en divisant par la longueur des transects utilisés multiplié par une bande de 42 m pour les estimations en « *Distance sampling* » et multiplié par une bande de 16 m pour les estimations en « *N-mixture* ». Nous avons comparé les estimations de densité pour (1) les données des 4 parcours (Ouest – Pointe Colibri, Est – Phare, Centre – Souffleur et Centre – Beauséjour) ensemble, et (2) les données séparées pour 3 zones (Point Colibri, Phare et secteur Centre).

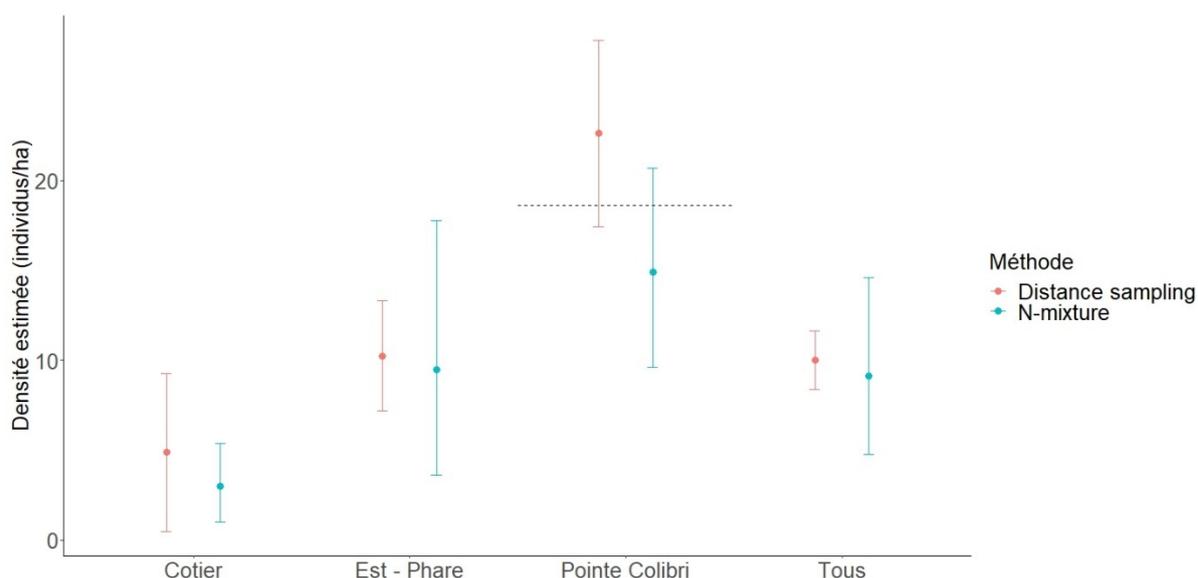


Figure 9. Comparaison des estimations de densité en « *Distance sampling* » et en « *N-mixture* » pour l'ensemble et pour les 3 zones séparées (Pointe Colibri, Phare zone Est et secteur Centre (côtier)). La ligne en pointillée au niveau des valeurs de la Pointe Colibri positionne l'estimation de la densité faites en CMR sur cette zone.

Bien qu'il y ait des différences d'estimation en fonction de la méthode utilisée pour l'analyse, **les variations spatiales mises en évidence restent similaires** avec une densité plus forte sur le parcours Pointe Colibri, intermédiaire pour le parcours Phare à l'Est et minimale pour le secteur Centre (Figure 9).

Par ailleurs, **l'estimation de densité faite avec ces deux méthodes sur la Pointe Colibri est cohérente avec l'estimation issue de l'analyse des données de la CMR réalisée en 2022** (Warret Rodrigues et al., 2023). La population de la Pointe Colibri était estimée en CMR à 186 [IC95% : 148–256] individus pour une surface d'environ 10 ha, soit une densité d'environ 18,6 individus/ha. Elle est estimée à **14,5** [IC95% : 10,9-21,4] individus/ha en utilisant l'analyse en

« *N-mixture* » (comptages répétés) et à **22,6** [IC95% : 17,4-27,8] individus/ha en utilisant l'analyse en « *Distance sampling* ».

3.6 ANALYSE DE PUISSANCE

Afin de **déterminer le nombre optimal de transects à suivre** pour l'implémentation de ce suivi sur le long terme, nous avons réalisé une analyse de puissance en simulant des jeux de données de suivi en « *Site occupancy* » et en « *N-mixture* ». Pour cela, nous avons utilisé les paramètres (probabilité d'occupation ou abondance par secteurs et probabilité de détection) estimés avec le jeu de données réel de 2024. Nous avons conservé 3 secteurs (Est, Centre et Ouest). Nous avons ensuite simulé l'évolution de ces paramètres sur une durée de 15 ans, en prenant en compte une diminution continue de 2%, 3% ou 5% de la probabilité d'occupation et de l'abondance moyenne (soit une diminution cumulée de 25%, 35% ou 51% de ces paramètres en 15 ans). Nous avons considéré 5 passages par an et par transect.

Pour chaque jeu de données, nous avons estimé la puissance, c'est-à-dire la probabilité de détecter un effet « année » dans la probabilité d'occupation ou dans l'abondance moyenne. **Avec 30 sites par catégories (Est, Ouest et Centre, soit 90 sites au total) et 5 passages par an, on peut détecter avec une puissance supérieure à 0,8 un déclin annuel de 5% de la probabilité d'occupation et un déclin annuel de 3% des effectifs** (Figure 10). Pour détecter un déclin annuel de 2% des effectifs, il faudrait passer à 50 sites par catégories (soit 150 sites au total).

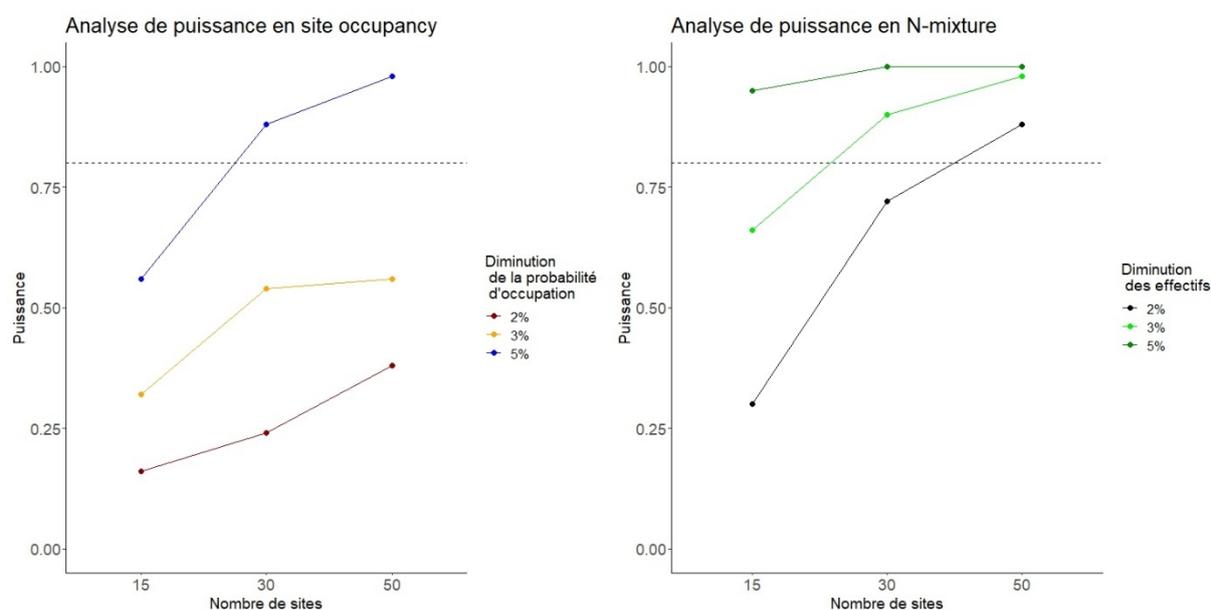


Figure 10. Analyse de puissance sur les jeux de données simulés sur une durée de 15 ans, à gauche en « *Site occupancy* » et à droite en « *N-mixture* ». Les droites horizontales en pointillés figurent la limite d'une puissance de 0.8.

A titre d'exemple, pour le secteur Ouest, un déclin annuel de 5% de la probabilité d'occupation impliquerait le passage d'une probabilité d'occupation de 0,50 [IC95% : 0,43-0,58] à une probabilité d'occupation de 0,36 [IC95% : 0,29-0,43] au bout de 15 ans. En utilisant les modèles de « *N-mixture* », une diminution de 3% des effectifs correspondrait au passage d'une densité moyenne sur la zone de 10,0 [IC95% : 7,7-12,3] individus/ha à une densité de 4,1 [IC95% : 2,7-

5,7] individus/ha¹. Ces simulations sont à prendre comme des aides pour le dimensionnement du protocole, mais il faut garder en tête que de nombreux facteurs peuvent intervenir. Nous avons par exemple considéré que la probabilité de détection restait constante au cours des années, ce qui est probablement inexact puisque de nombreux facteurs (climatiques, comportementaux,) peuvent influencer sur cette probabilité de détection.

¹ Attention, ces estimations sont basées sur des données simulées et les estimations des probabilités d'occupation et de densités initiales sont donc différentes de celles présentées plus haut, puisqu'elles intègrent seulement les 3 catégories (Est, Ouest, Centre) et ne prennent pas en compte les spécificités par trajet comme nous l'avons fait dans les figures 8 et 9.

4 PRECONISATION POUR L'IMPLEMENTATION D'UN SUIVI SUR LE LONG TERME

4.1 IMPORTANCE DE LA PERENNISATION DU SUIVI PAR CMR SUR LA POINTE COLIBRI

Comme résumé par Warret Rodrigues et al. (2023), l'implémentation sur le long terme d'un protocole de suivi par CMR permettra toujours d'obtenir des estimations plus fiables, plus réalistes et plus robustes de paramètres démographiques (survie, recrutement, etc.). Afin de gérer, et donc de conserver efficacement une population d'une espèce en danger et soumise à de fortes pressions, il est nécessaire de suivre les changements dans le temps des différents paramètres démographiques, et d'identifier celui ou ceux qui ont la plus forte influence sur le taux de croissance de la population, et ceux sur lesquels les gestionnaires peuvent agir (Warret Rodrigues et al. 2021). Il est donc important de considérer que le protocole testé et proposé dans cette étude ne peut s'envisager qu'en complément et non en remplacement du protocole par CMR de la pointe des Colibris.

4.2 PROTOCOLE COMPLEMENTAIRE SUR LE RESTE DE L'ILE

En parallèle, un protocole de suivi pouvant combiner une analyse en « *Site occupancy* », « *N-mixture* » et « *Distance sampling* » déployé sur le reste de l'île devra :

- **Compter au minimum entre 30 et 50 transects de 100 m dans trois secteurs géographiques (Ouest, Centre et Est).** Les transects utilisés dans la présente étude (10 845m cumulés sur ces trois secteurs : 3 065m, 3 433m et 4 347m) pourront ainsi être complétés par d'autres transects pour atteindre si possible un total de 50 transects de 100 m par secteur (soit 5km de parcours par secteur et 15km au total). Les transects de l'Ouest et du Centre peuvent être rallongés en suivant les axes routiers et les rues du bourg. Il serait intéressant d'ajouter un parcours à l'extrémité Nord-Est de l'île où des iguanes ont été observés en 2015 (Angin & Guiougou, 2015) mais pas en 2020 (Angin et al, 2021) (Figure 1). Un repérage sur le terrain permettra de préciser les nouveaux transects ;
- **Compter au minimum 5 passages par an sur chaque transect** dans un temps limité (maximum 1 mois, avec possibilité par exemple de les réaliser sur une semaine complète) ;
- **Être réalisé à la même période chaque année.** La période de janvier à mars semble la plus favorable en termes de condition météo, de disponibilité des acteurs et de détectabilité des individus.

La zone du plateau et les falaises au Nord abritent quelques iguanes, mais en trop faible densité et dans un contexte beaucoup trop compliqué pour pouvoir suivre leur présence avec le protocole présenté. Sur ces zones, on peut envisager un intense effort de prospection tous les 3 à 5 ans pour estimer si des individus s'y trouvent toujours ou pour détecter une colonisation plus importante de ces secteurs.

En parallèle du suivi de la population d'Iguane des Petites Antilles, ce suivi est aussi l'opportunité de faire une veille attentive quant à la présence d'individus d'Iguane commun ou d'hybride. En

amont de la mission, il serait pertinent de prévenir les personnels formés et autorisés qui sont présents sur l'île et de s'assurer que le matériel nécessaire à la capture, la contention et la mise à mort soit disponibles. De plus l'ensemble des participants à la mission doivent être formés à la reconnaissance des deux espèces ainsi que des hybrides.

REFERENCES

- ANGIN, B. & GUIOUGOU, F. 2015. — Étude des populations d'iguanes des petites Antilles (*Iguana delicatissima*) de l'île de la Désirade. Association Le Gaïac, 17p.
- ANGIN B., WARRET RODRIGUES C., GUIOUGOU F. 2021. — Caractérisation des enjeux de conservation de la population d'iguane des petites Antilles et de ses habitats sur l'île de la Désirade. Association Le Gaïac – Association Titè. 22p + annexe.
- FISKE I. & CHANDLER R.B. 2011. — unmarked: An R package for fitting hierarchical models of wildlife occurrence and abundance. *Journal of Statistical Software* 43 (10): 1–23
- HOSTETLER J.A. & CHANDLER R.B. 2015. — Improved state-space models for inference about spatial and temporal variation in abundance from count data. *Ecology* 96 (6): 1713–1723
- KÉRY M., ROYLE J.A. & SCHMID H. 2005. — Modeling avian abundance from replicated counts using binomial mixture models. *Ecological applications* 15 (4): 1450–1461
- MACKENZIE D.I., NICHOLS J.D., LACHMAN G.B., DROEGE S., ROYLE J.A. & LANGTIMM C.A. 2002. — Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* 83 (8): 2248–2255
- MACKENZIE D.I., NICHOLS J.D., SEAMANS M.E. & GUTIERREZ R.J. 2009. — Modeling species occurrence dynamics with multiple states and imperfect detection. *Ecology* 90 (3): 823–835
- ROYLE J.A. 2004. — N-Mixture Models for Estimating Population Size from Spatially Replicated Counts. *Biometrics* 60 (1): 108–115
- WARRET RODRIGUES, C., ANGIN, B., AND BESNARD, A. 2021. — Favoring recruitment as a conservation strategy to improve the resilience of long-lived reptile populations: Insights from a population viability analysis. *Ecol. Evol.* 11(19): 13068–13080.
- WARRET RODRIGUES C., ANGIN B. & BESNARD A. 2023. — Démographie d'une espèce en déclin : coûts et bénéfices des différentes méthodes de suivi chez l'iguane des petites Antilles. *Ardops Environnement – CEFE*, 33p. + annexe.

ANNEXE 1

Affichage web du formulaire numérique Kobo Toolbox utilisé pour la collecte des données.

CR IPA Désirade

Record your current location

latitude (x,y °)

longitude (x,y °)

altitude (m)

précision (m)

Transect

- OUEST - Pointe Colibri
- OUEST - Chemin Latanier
- OUEST - Beauséjour
- CENTRE - Rando Grand Nord
- CENTRE - Centre plateau
- CENTRE - Eoliennes Souffleur
- CENTRE - Souffleur
- EST - Antenne relais
- EST - Ancienne déchèterie
- EST - Phare

De quel côté du transect ?

- Gauche
- Droite



Classe d'âge

- Juvénile
- Subadulte
- Adulte
- Indéterminé

Sexe

- Mâle
- Femelle
- Indéterminé

Support

Support sur lequel a été aperçu en premier l'individu

- Sol
- Bâti
- Végétation

Essence

- Amardier
- Cannelle à puces
- Mancenillier
- Porrier pays
- Raisinier bord de mer
- Autre essence
- Indéterminé

Autre essence

Distance

Se placer bien au milieu du chemin pour prendre la mesure avec le télémètre

Angle

Se placer bien au milieu du chemin pour prendre la mesure avec l'inclinomètre