

Calibration d'un protocole de suivi des tortues marines de Petite Terre par photo-identification



juin 2025




Julie PAUWELS (E.I.)

Rocío PRIETO GONZÁLEZ (Counting Whales, E.I.)

Financé par

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	1
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES.....	2
<i>Tableaux.....</i>	<i>2</i>
<i>Figures.....</i>	<i>2</i>
REMERCIEMENTS.....	3
1 INTRODUCTION.....	4
1.1 CONTEXTE.....	4
1.2 OBJECTIFS DE LA PRESTATION.....	4
2 PROTOCOLE DE CALIBRATION.....	5
2.1 ZONE D'ÉTUDE ET PARCOURS.....	5
2.2 METHODOLOGIE DE SUIVI.....	6
2.3 SECURISATION DES DONNEES.....	7
3 DONNEES RECOLTEES.....	8
4 ANALYSE DES DONNEES.....	10
4.1 SELECTION DES DONNEES.....	10
4.2 PRESENTATION DU JEU DE DONNEES.....	10
4.3 ANALYSE DE CAPTURE-MARQUAGE-RECAPTURE.....	12
5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	14
5.1 RESULTATS DE LA CMR PAR PHOTO-IDENTIFICATION.....	14
5.2 UTILISATION POUR REpondre A DES OBJECTIFS DE GESTION DE LA RESERVE.....	14
5.3 MISE EN ŒUVRE DU PROTOCOLE PAR LES AGENTS DE LA RESERVE.....	15
REFERENCES.....	16
ANNEXE 1.....	17

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

TABLEAUX

Tableau 1. Données récoltées pendant les suivis 2024-2025. Certains individus observés ont fuit trop vite pour être photographiés. Certains individus ont été photographiés mais la qualité des clichés n'a pas permis de les identifier. Le taux de réussite de "capture" correspond au ratio du nombre d'observations ayant abouti à une identification sur le nombre total d'observations.	9
Tableau 2. Réussite et méthode d'identification des individus observés.	9
Tableau 3. Description du jeu de données 2018-2025. Les sessions primaires correspondent à une mission de plusieurs jours avec des suivis (sessions secondaires) rapprochés (maximum 5 jours d'écart).....	10
Tableau 4. Redécoupage des sessions pour l'analyse des données.....	12
Tableau 5. Sélection du meilleur modèle.....	13

FIGURES

Figure 1. Délimitation de la zone d'étude et parcours théorique du lagon pour la prospection. Noter que de nombreuses données historiques, dont toutes les données de Lange 2016, ne sont pas représentées faute de coordonnées GPS.	5
Figure 2. Données récoltées au cours des suivis de calibration. Le GPS ayant dysfonctionné pour 2 des 6 suivis réalisés en mars 2025, seules les données de 4 suivis sont représentés.	8
Figure 3. Nouveaux individus identifiés au cours des suivis. A) Proportion d'individus nouveaux et connus pour chaque session primaire. Le nombre total d'individu est indiqué au-dessus de chaque barre. (*) indique une session primaire comprenant 4 sessions secondaires, (**) indique une session primaire comprenant 12 sessions secondaires, les autres sessions primaires comprennent 6 sessions secondaires. B) Courbe d'accumulation du nombre de nouveaux individus au cours des sessions primaires. L'axe des x prend en compte les écarts de temps entre sessions. C) Nombre de nouveaux individus identifiés en fonction du numéro de la session secondaire (limité au 6 premières sessions) D) Proportion d'individus observés pendant 1 à 6 sessions primaires. Les nombres en haut des barres indique l'effectif.	11
Figure 5. Estimation du nombre d'individus dans la zone d'étude pour chaque session. Les barres d'erreur représentent les intervalles à 95%.....	13
Figure 6. Courbes d'accumulation du nombre de nouveaux individus identifiés au cours des sessions secondaires pour chaque session primaire. Les chiffres au-dessous des courbes indiquent le nombre de nouveaux individus pour la session secondaire concernée par rapport au précédentes sessions secondaires de la session primaire.	17

REMERCIEMENTS

Ce travail a été commandé par l'association Titè, cogestionnaire de la Réserve Naturelle des îles de la Petite Terre. Il s'inscrit dans le cadre de la mise en œuvre du Plan de gestion 2020-2029 de la réserve.



Citation recommandée

Pauwels J. & Prieto González R. (2025). *Calibration d'un protocole de suivi des tortues marines de Petite Terre par photo-identification*. Juin 2025, 17 p.

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE

Le lagon de la Réserve Naturelle des îlets de Petite Terre accueille une population importante de Tortues vertes (*Chelonia mydas*) juvéniles et quelques Tortues imbriquées (*Eretmochelys imbricata*). Depuis 2015, plusieurs études ont été menées pour mieux connaître cette population de tortues marines en utilisant la photo-identification pour identifier chaque tortue individuellement. Cette méthodologie peut ainsi être utilisée pour réaliser un suivi par Capture-Marquage-Recapture (CMR) sans avoir à capturer réellement les individus. Un tel suivi, mis en œuvre annuellement, peut se révéler un outil utile pour mieux comprendre la dynamique de la population du lagon et son évolution ainsi que ses interactions avec le milieu (habitats et nourriture disponibles, fréquentation touristique).

1.2 OBJECTIFS DE LA PRESTATION

Cette prestation a pour objectif de **calibrer un protocole de suivi des tortues marines du lagon de Petite Terre par photo-identification**. Pour cela nous avons suivi la méthodologie suivante :

Élaboration du protocole de calibration

La réflexion pour l'élaboration du protocole de calibration s'est basée sur une étude bibliographique (littérature grise et scientifique), les rapports des travaux déjà menés à Petite Terre ainsi que sur une analyse qualitative des données historiques récoltées dans le lagon. Afin de proposer un protocole pertinent, nous avons échangé avec l'équipe de la Réserve sur les objectifs visés, les contraintes de terrain et les moyens humains et financiers envisagés pour la mise en œuvre du protocole.

Mise en œuvre et formation des agents de la Réserve

Le protocole a été mis en œuvre au cours de deux missions de terrain (octobre 2024 et mars 2025) afin de tester les conditions de son application et la qualité des données collectées. Rocío PRIETO GONZÁLEZ, biostatisticienne, était présente pour la première mission afin d'évaluer les biais potentiels dans la collecte des données et optimiser le protocole.

Les deux missions ont été réalisées avec des agents de la Réserve (Grégory MASTON, Sébastien RONADA, Jean-Claude LALANNE, Miguel CONTARET et Julien TESSONNEAU) afin de les former à la réalisation du suivi et à la bancarisation des données.

Bancarisation, analyse des données

Les images collectées au cours des missions de terrain sont traitées pour former une banque d'image. Les photos sélectionnées sont mises en ligne sur la plateforme TORSOOI afin d'identifier les individus et bancariser les photos. Ensuite, les informations collectées sur le terrain sont associées aux identifications individuelles dans une base de données Excel. Cette base de données ainsi que celle comprenant les données historiques collectées dans le lagon ont fait l'objet d'une analyse statistique CMR.

Préconisation

A l'issue de ce rapport, nous proposons un protocole de suivi annuel des tortues marines dans le lagon avec des recommandations pour une bonne mise en œuvre d'un point de vue scientifique et technique. Nous proposons aussi des analyses complémentaires du jeu de données pour compléter des objectifs de gestion.

2 PROTOCOLE DE CALIBRATION

Le suivi des tortues marines par photo-identification suit un **protocole de Capture-Marquage-Recapture** où les « captures » sont la prise de photo d'un individu et le « marquage » est le motif unique créé par l'écaillage des profils. Parmi les données recueillies, les plus importantes pour ce suivi sont donc les photos de chaque individu. Une attention particulière doit donc être portée sur le matériel utilisé et la prise de vue afin d'assurer une bonne réalisation du protocole.

2.1 ZONE D'ETUDE ET PARCOURS

Le suivi est réalisé dans le lagon entre Terre de Haut et Terre de Bas (Figure 1). Les limites Nord et Sud de la zone d'étude sont les deux îles. La limite à l'Est correspond à la ligne de bouée délimitant la zone protégée de coraux. La limite à l'Ouest est située un peu avant la fin de la côte de Terre de Haut. Ces délimitations ont été choisies pour optimiser la taille de la zone de prospection tout en prenant en compte la sécurité des observateurs. La zone de récif corallien n'est pas prospectée car le protocole vise les tortues vertes que l'on retrouve en priorité au sein du lagon.

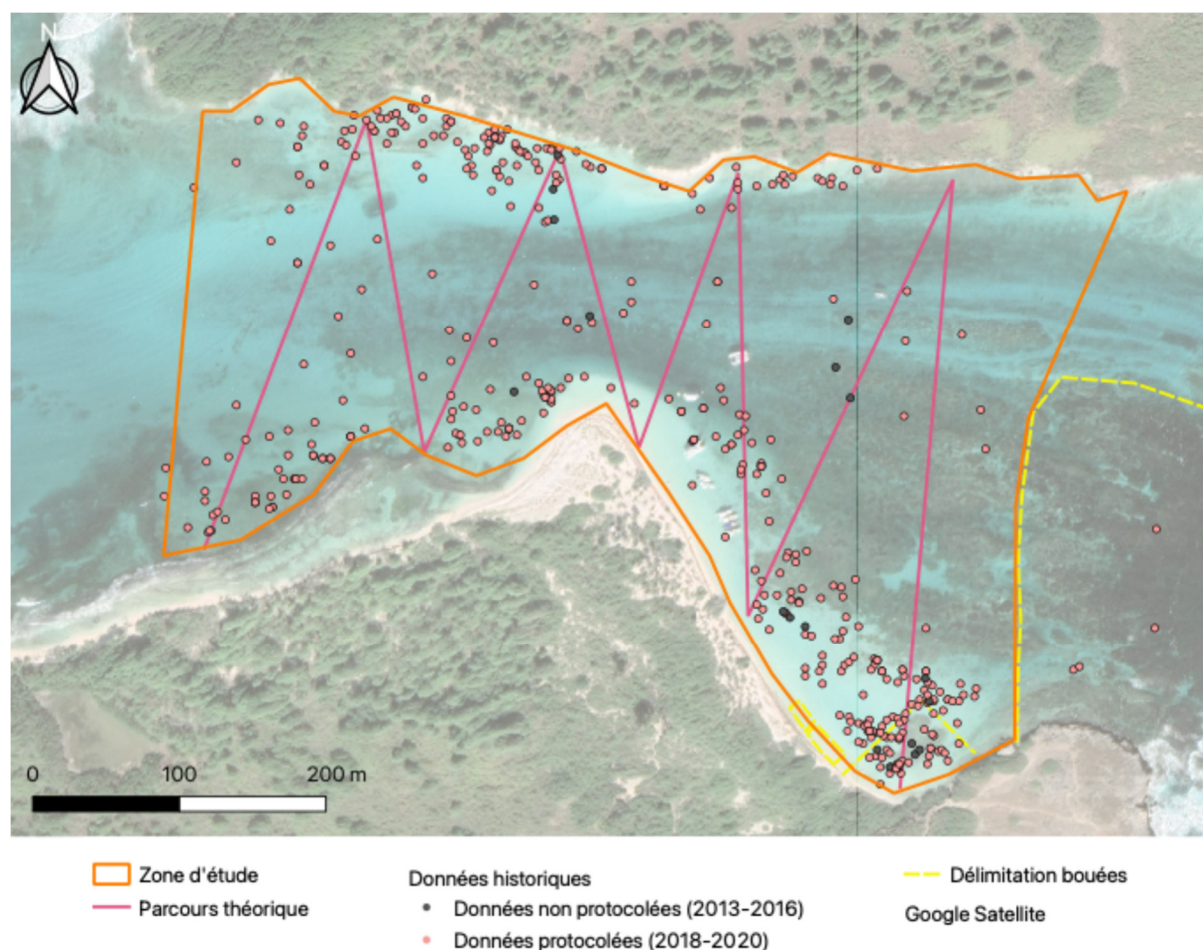


Figure 1. Délimitation de la zone d'étude et parcours théorique du lagon pour la prospection. Noter que de nombreuses données historiques, dont toutes les données de Lange 2016, ne sont pas représentées faute de coordonnées GPS.

La zone d'étude doit être parcourue de manière homogène tout en prenant en compte les facteurs environnementaux et notamment le sens du courant traversant le lagon. Nous avons donc choisi de réaliser un parcours en zig-zaguant du Nord au Sud, en partant de l'Est de la zone d'étude et en allant vers l'Ouest (dans le sens du courant). Le suivi strict d'un transect dans l'eau étant impossible, chaque suivi passe à des endroits différents permettant ainsi une couverture quasi exhaustive du lagon.

De plus, le parcours doit être adapté à chaque suivi en fonction des conditions de courant et de visibilité. Lorsque le courant est fort, il est de la responsabilité des observateurs d'évaluer le danger et d'aller un peu moins loin vers l'Ouest pour rester en sécurité. Si la visibilité est très mauvaise à certains endroits (notamment à proximité des côtes), les observateurs peuvent faire demi-tour avant la côte. Ces adaptations ne doivent pas se faire au détriment du temps passé dans le lagon, **la durée du suivi doit toujours être la même.**

2.2 METHODOLOGIE DE SUIVI

Le suivi est réalisé par un binôme d'opérateurs. Ils parcourent ensemble la zone d'étude définie dans le lagon à un rythme lent en suivant un trajet en zigzag entre Terre de Bas et Terre de Haut, en allant de l'Est vers l'Ouest afin de descendre le courant. La prospection du lagon dure **2 heures** (+/- 10 minutes). Le trajet comprend 4 allers-retours entre les deux îles, un aller-retour doit donc prendre environ 30 minutes.

Les suivis doivent être réalisés de 7h à 9h et de 15h à 17h. Si le suivi doit être interrompu (repos des opérateurs, intervention de police, etc.), on prend note de la durée de l'interruption pour bien réaliser 2h de suivi au total.

Tout au long du suivi, les deux opérateurs observent tout autour d'eux pour chercher des tortues marines. Lorsqu'un opérateur voit une tortue, il prévient en premier lieu son binôme. Chaque opérateur a alors un rôle à remplir : Photographe ou Scribe. Le rôle de chaque opérateur doit être défini au début du suivi. Il peut être inversé au cours du suivi. À tout moment du suivi, chaque opérateur doit connaître son rôle afin de réagir efficacement lorsqu'une tortue est rencontrée. Les rôles sont les suivants :

- **Le Photographe** a la charge de la prise des photos de l'individu. Il doit respecter des consignes pour une approche respectueuse de l'individu (cf ci-dessous). Il doit prendre en photo le dessus de l'animal (carapace et dessus de la tête) ainsi que ses deux profils en se tenant perpendiculairement à l'individu. On prendra, par ordre de priorité : 1) le dessus de la tête et la carapace, 2) le profil droit et 3) le profil gauche.
- **Le Scribe** a la charge de prendre les informations liées à l'observation. Il doit se mettre au point où l'animal a été observé en premier et noter sa position GPS ainsi que l'heure de l'observation. En observant l'individu, il notera aussi l'espèce, la classe de taille, le sexe si possible, l'activité de la tortue au moment de l'observation, le substrat sur lequel elle a été observée, le nombre d'individu à proximité directe et la réaction au moment de l'approche du Photographe.

Consignes d'approche des tortues marines

La mise en œuvre du protocole doit être respectueuse des tortues marines et engendrer le moins de dérangement possible. Le Photographe doit s'approcher doucement et sans gestes brusques et toujours respecter une distance de quelques mètres avec l'individu. Il ne doit pas se mettre face à l'animal ou l'empêcher de remonter respirer à la surface ni le poursuivre s'il s'enfuit.

Consignes de sécurité

Les opérateurs doivent toujours avoir une bouée bateau avec eux afin d'être plus visibles dans l'eau. Ils doivent rester attentifs au passage des bateaux et à la force du courant dans le lagon. Lorsque le Photographe approche une tortue, le Scribe doit toujours surveiller son binôme.

Note : Le protocole est calibré pour les tortues vertes (prospections en dehors des zones de récif), cependant, si une tortue imbriquée est rencontrée, les opérateurs peuvent relever les mêmes données que pour les tortues vertes.

2.3 SECURISATION DES DONNEES

A chaque fin de suivi dans le lagon, les données collectées doivent être sécurisées et organisées correctement sur un ordinateur afin de vérifier leur complétude et les corriger immédiatement si besoin. Il faut ainsi :

- Télécharger la **trace GPS** ;
- Télécharger les **photos** et les ranger en créant un dossier par individu. Les dossiers doivent être nommé selon la nomenclature suivante :
 - Code espèce : CM (*Chelonia mydas*) ou EI (*Eretmochelys imbricata*)
 - Classe d'âge : J (juvénile) ou A (adulte)
 - Code territoire : GP (Guadeloupe)
 - Code localité : PT (Petite Terre)
 - Date : AAA-MM-JJ (année-mois-jour)
 - Numéro de l'individu

Exemple : CMJGPPT202503176 est le 6^e individu observé le 17 mars 2025 à Petite Terre en Guadeloupe et c'est une tortue verte juvénile.

- Retranscrire sur un tableur les **données notées pendant le suivi** et associer à chaque ligne le nom du dossier photo correspondant.

Il est **impératif de faire ce travail après chaque suivi afin de ne pas perdre des données**. De plus, il est fortement conseillé de faire une copie de l'ensemble des données par sécurité.

3 DONNEES RECOLTEES

Deux sessions de récolte de données ont été mises en œuvre (Figure 2) :

- Du **26 au 28 octobre 2024** avec Julie PAUWELS, Rocío PRIETO GONZÁLEZ, Grégory MASTON et Sébastien RONADA. Nous avons réalisé une session test et 4 suivis.
- Du **17 au 20 mars 2025** avec Julie PAUWELS, Jean-Claude LALANNE, Miguel CONTARET et Julien TESSONNEAU. Nous avons réalisé 6 suivis dont une mise en œuvre par les agents de la Réserve en autonomie.

Tous les participants ont été formés au suivi et à la récolte de données et Julien TESSONNEAU a été formé à la sécurisation des données après le suivi. Tous les suivis ont été réalisés par un binôme comprenant à chaque fois Julie PAUWELS sauf le 19 Mars après-midi où le suivi a été réalisé en autonomie par Julien TESSONNEAU et Miguel CONTARET.

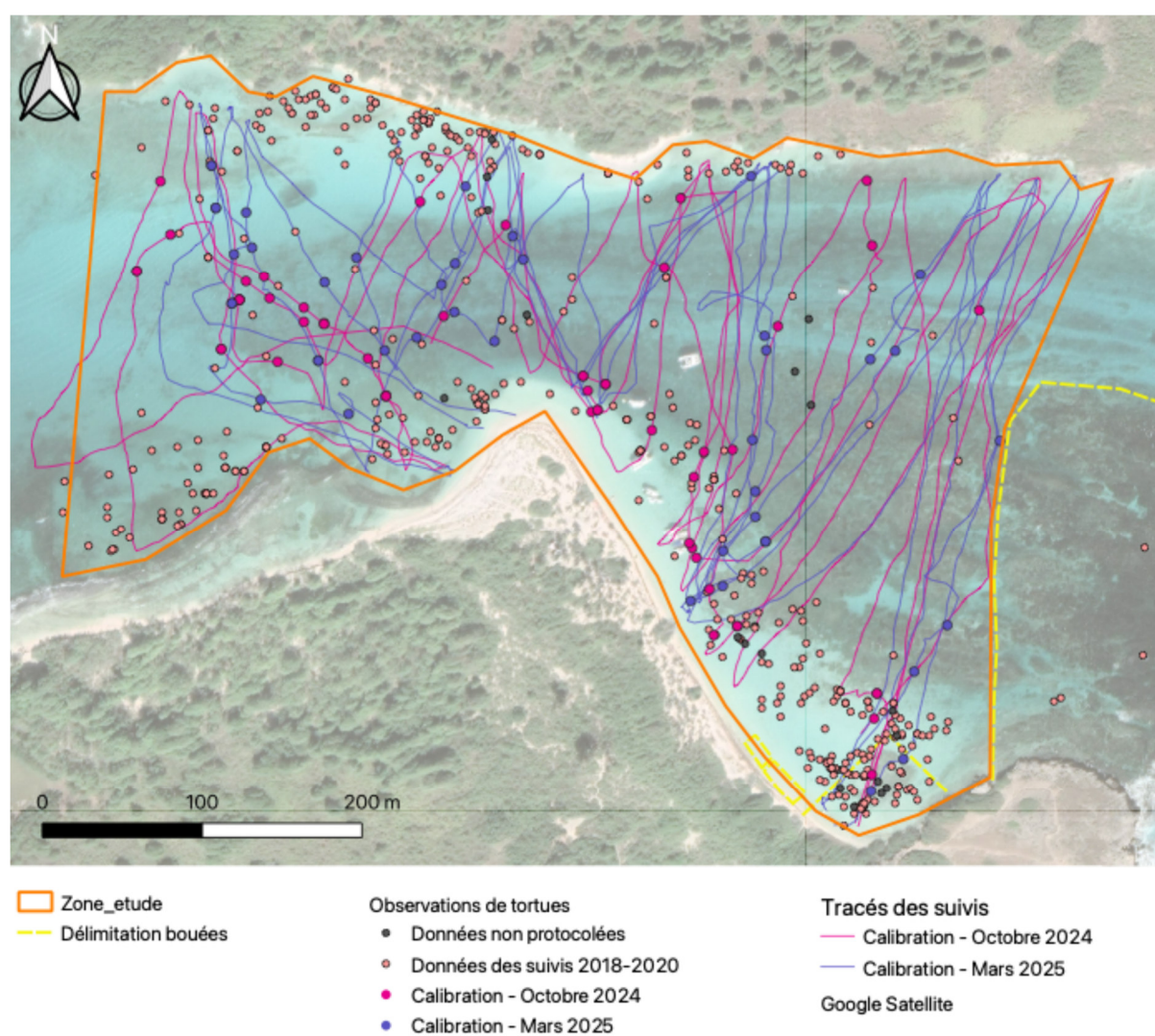


Figure 2. Données récoltées au cours des suivis de calibration. Le GPS ayant dysfonctionné pour 2 des 6 suivis réalisés en mars 2025, seules les données de 4 suivis sont représentés.

Tableau 1. Données récoltées pendant les suivis 2024-2025. Certains individus observés ont fuit trop vite pour être photographiés. Certains individus ont été photographiés mais la qualité des clichés n'a pas permis de les identifier. Le taux de réussite de "capture" correspond au ratio du nombre d'observations ayant abouti à une identification sur le nombre total d'observations.

	Octobre 2024				Mars 2025				TOTAL		
	26	27		28	17	18		19		20	
	PM	AM	PM	AM	PM	AM	PM	AM			
Nb d'observations	10	17	11	16	23	10	18	10	6	17	138
Dont photographiés	9	9	9	14	17	9	16	7	6	12	108
Dont identifiés	8	9	9	14	16	9	16	6	6	12	105
Taux de réussite de « capture »	80%	53%	82%	88%	70%	90%	89%	60%	100%	71%	76%
Nb d'individus distincts	28				42						

Au total, il y a eu **138 observations** dont **105 ont abouti à une identification** soit un taux de réussite de capture de **76%** (Tableau 1). Le suivi du matin du 27 octobre a un taux de réussite de capture particulièrement bas (53%) à cause d'un courant particulièrement fort dans le lagon à ce moment-là.

Pour 93 (89%) des 105 individus identifiés un ou les deux profils ont été photographiés avec une qualité suffisante pour être bancarisé sur la plateforme TORSOOI. Ce sont donc 141 photos qui ont été traitées sur cette plateforme (78 profils droit et 63 profils gauche) (Tableau 2). 12 observations (11%) n'ont pas de photos de profils de qualité suffisante pour être bancarisées sur TORSOOI, les identifications ont donc été faites grâce à des caractéristiques de la carapace et du dessus de la tête.

Tableau 2. Réussite et méthode d'identification des individus observés.

Non photographié	30	Non identifié	33		
Photographié	108	Identifié	105	Profil droit et gauche	48
				Profil droit seulement	30
				Profil gauche seulement	15
				Aucun profil	12

4 ANALYSE DES DONNEES

4.1 SELECTION DES DONNEES

Le premier suivi des tortues marines par photo-identification réalisée à Petite Terre a eu lieu en 2016. Le protocole décrit dans le rapport (Lange, 2016) est très similaire au protocole utilisé ici mais les données paraissent différentes (peu d'observations à chaque suivi). De plus, une partie des données ayant été perdues, certaines informations sont manquantes (ex., heure du suivi pour définir les observations réalisées le matin et celle l'après-midi pour un même jour). Ces données n'ont donc pas été incluses dans l'analyse (Tableau 3).

Alexandra LE MOAL a été consultée sur la méthodologie de suivi utilisée de 2018 à 2020 (Le Moal, 2020). Le protocole mis en œuvre était très proche de celui présenté ici. La seule différence réside dans la manière de parcourir le lagon qui était plutôt circulaire, essentiellement à proximité des côtes, et passait peu dans la partie centrale du lagon. Le lagon n'était donc pas prospecté de manière homogène. La zone de recherche était aussi un peu plus grande vers l'Est et vers l'Ouest et comprenait notamment une partie de la zone de récifs coralliens protégés à l'Est. Malgré ces quelques différences dans l'échantillonnage, les données 2018-2020 ont été analysées avec les données 2024-2025.

Le protocole étant optimisé pour le suivi des tortues vertes (*Chelonia mydas*), l'unique observation de tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*) a été enlevée du jeu de donnée.

4.2 PRESENTATION DU JEU DE DONNEES

Le jeu de données retenu comprend donc les données collectées entre 2018 et 2025, soit 8 missions de terrain (6 missions de 2018 à 2020 et 2 dans le cadre de la calibration). Certaines missions de suivi ont été réalisées à moins de 15 jours d'intervalle (août et septembre 2018 et novembre et décembre 2019). Elles sont donc comptées comme appartenant à une même session primaire. Le jeu de données est ainsi constitué de 6 sessions primaires et 40 sessions secondaires (i.e., 40 suivis de 2h dans le lagon) (Tableau 3). Le taux de réussite de "capture" moyen est de 65%. Ce taux pourrait être influencé par la visibilité ou le courant au cours du suivi. Une mesure objective de ces paramètres permettrait de le tester.

Tableau 3. Description du jeu de données 2018-2025. Les sessions primaires correspondent à une mission de plusieurs jours avec des suivis (sessions secondaires) rapprochés (maximum 5 jours d'écart).

Année	Sessions primaires	Ecart entre sessions primaires (mois)	Nombre de sessions secondaires	Nombre d'obs	Nombre d'identificat	Taux de réussite de "capture"
2018	Août/Sept	-	12	162	98	60%
2019	Mars	6	6	115	67	58%
	Nov/Dec	8	6	73	43	59%
2020	Août	9	6	100	61	61%
2024	Octobre	50	4	54	40	74%
2025	Mars	6	6	84	65	77%
TOTAL			40	588	375	65%

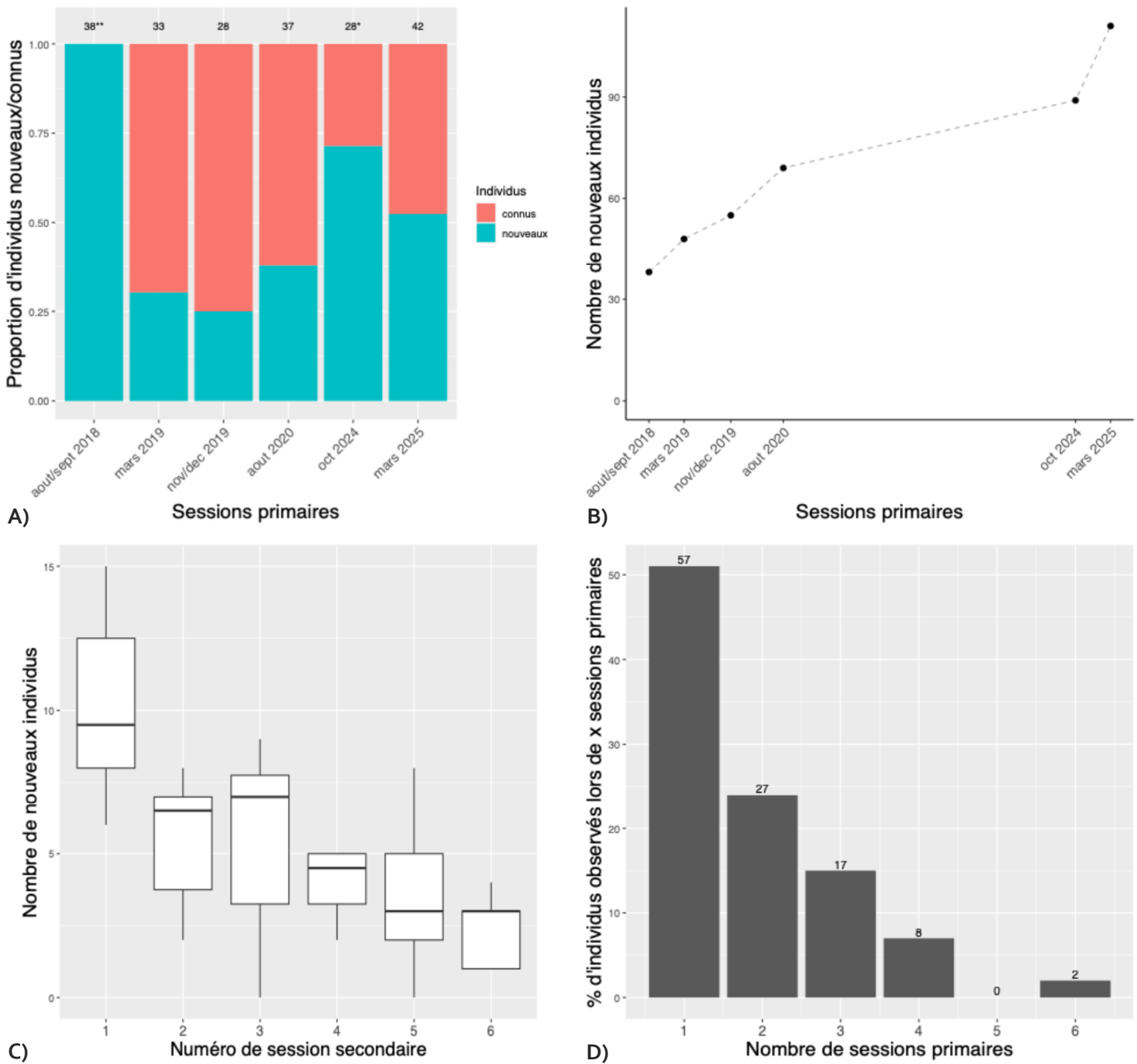


Figure 3. Nouveaux individus identifiés au cours des suivis. A) Proportion d'individus nouveaux et connus pour chaque session primaire. Le nombre total d'individu est indiqué au-dessus de chaque barre. (*) indique une session primaire comprenant 4 sessions secondaires, (**) indique une session primaire comprenant 12 sessions secondaires, les autres sessions primaires comprennent 6 sessions secondaires. B) Courbe d'accumulation du nombre de nouveaux individus au cours des sessions primaires. L'axe des x prend en compte les écarts de temps entre sessions. C) Nombre de nouveaux individus identifiés en fonction du numéro de la session secondaire (limité au 6 premières sessions) D) Proportion d'individus observés pendant 1 à 6 sessions primaires. Les nombres en haut des barres indique l'effectif.

Parmi les individus identifiés au cours d'une session primaire, en moyenne 43% sont identifiés pour la première fois (Figure 3 – A), le nombre de nouveaux individus identifiés d'une session primaire à la suivante est donc important (Figure 3 – B et Annexe 1). Il est probable que la population soit nombreuse par rapport au nombre d'individus identifiés au cours d'une session primaire et que son

recensement nécessite ainsi plus de suivis si l'on veut se rapprocher de l'exhaustivité. En effet, même si le nombre de nouveaux individus identifiés diminue avec le numéro de la session secondaire, on identifie toujours en moyenne 2 nouveaux individus à la 6e session secondaire (Figure 3 - C). Par ailleurs, sur les 111 individus différents observés, la moitié ne sont vus qu'au cours d'une seule session primaire et seulement 2 individus (2%) ont été observés lors de 5 sessions primaires ou plus (Figure 3 - D). Le temps de résidence des individus est donc probablement assez faible.

La quasi-totalité des individus observés (98%) sont des juvéniles. Ils sont en phase d'alimentation et de croissance dans le lagon et y résident donc de manière transitoire. La population se renouvelle donc probablement très régulièrement, avec des taux d'immigration et d'émigration importants.

4.3 ANALYSE DE CAPTURE-MARQUAGE-RECAPTURE

Certaines sessions primaires étant très proches (<15 jours d'écart), elles ont été regroupées en une seule session primaire. On a donc 6 sessions primaires et 40 sessions secondaires (Tableau 4).

Tableau 4. Redécoupage des sessions pour l'analyse des données.

	Août/Sept. 2018	Mars 2019	Nov./Déc. 2019	Août 2020	Oct. 2024	Mars 2025
Nb de sessions secondaires	12	6	6	6	4	6
Nb d'observations	98	67	43	61	40	65
Nb d'individus	38	33	28	37	28	42
Nb de nouveaux individus	38	10	7	14	20	22

Deux types de modèles de population ont été ajustés :

- Le **modèle POPAN** (Schwarz & Arnason, 1996) qui prend en compte uniquement les sessions primaires et considère donc la population comme ouverte ;
- Le modèle **Robust Design** (Pollock, 1982) qui prend en compte une population ouverte entre les sessions primaires et une population fermée (pas de naissance, de mort, d'immigration ou d'émigration) au sein d'une session primaire.

Le protocole d'échantillonnage comportant à la fois des sessions primaires et secondaires, le modèle Robust Design est plus pertinent et permet d'obtenir des estimations d'abondance plus précises lorsque les données sont de bonne qualité. Seuls les résultats pour ce modèle sont donc présentés. Ce modèle permet de calculer la probabilité de capture (p), la probabilité de survie (Φ), deux probabilités d'émigration temporaire (Γ' et Γ'') et la taille de la population (f_0) pour chaque session primaire.

On teste plusieurs modèles en permettant ou non la probabilité de capture et la probabilité de survie de varier en fonction du temps (Tableau 5). Le modèle le mieux adapté aux données est celui avec une probabilité de capture qui dépend du temps et une probabilité de survie constante. C'est ce modèle qui a été utilisé pour la suite des analyses.

Tableau 5. Sélection du meilleur modèle.

Modèle	Nb de paramètre	AICc	Delta AICc
S(~1)Gamma''(~1)Gamma'(~1)p(~session)c()fo(~session)	15	721.6	0
S(~time)Gamma''(~1)Gamma'(~1)p(~1)c()fo(~session)	14	724.7	3.1
S(~time)Gamma''(~1)Gamma'(~1)p(~session)c()fo(~session)	19	729.5	7.9
S(~1)Gamma''(~1)Gamma'(~1)p(~1)c()fo(~session)	10	743.9	22.4

La **probabilité de survie est de 0.97** [IC95%: 0.97-0.98]. Une étude CMR sur la population de tortues vertes des Anses d'Arlet en Martinique a permis d'estimer la probabilité de survie pour des tortues entre 25 cm et 59 cm de CCL (longueur courbe de carapace) à 0.95, [HPDI95%:0.90–0.99] et 0.84 [HPDI95%: 0.76–0.91] pour des tortues entre 59 cm et 73 cm de CCL (Lelong et al, 2024).

La **probabilité de capture varie de 0.16** [IC95%: 0.12-0.22] à **0.22** [IC95%: 0.17-0.29] en fonction des sessions de capture.

L'estimation de l'effectif de la population est stable entre 2018 et 2025 avec une estimation la plus basse en mars 2019 avec 42 individus [IC95%: 36-55] et une estimation la plus haute en **mars 2025 avec 64 individus** [IC95%: 53-88].

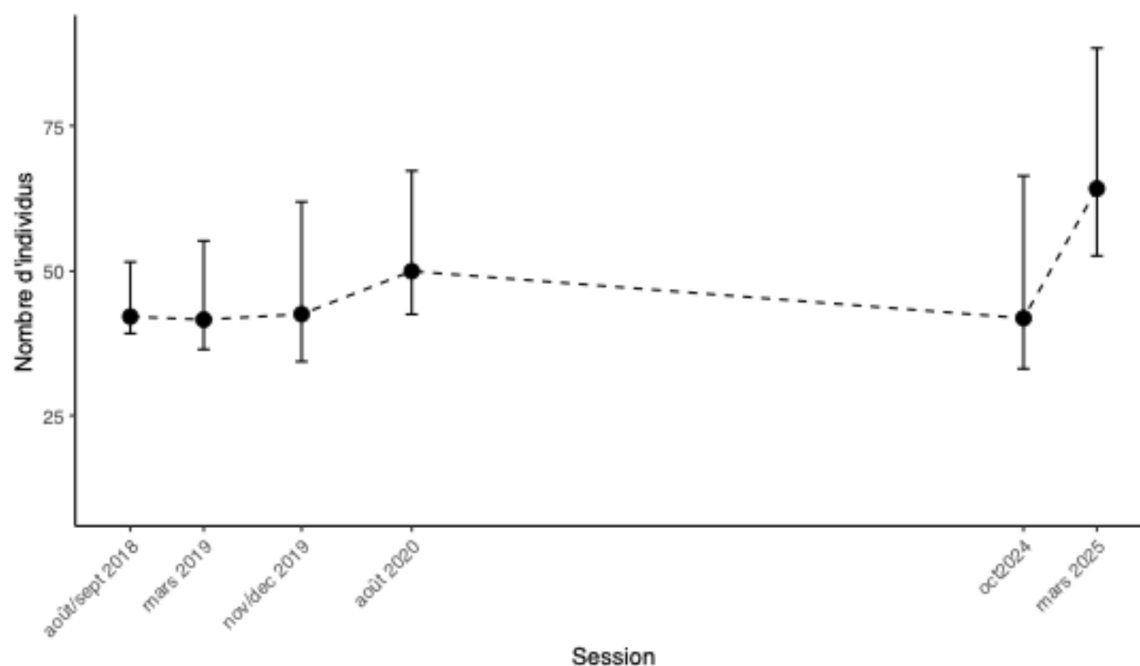


Figure 4. Estimation du nombre d'individus dans la zone d'étude pour chaque session. Les barres d'erreur représentent les intervalles à 95%.

Les résultats obtenus avec le modèle POPAN en incluant l'effort d'observation (i.e., le nombre de sessions secondaires) comme covariable afin de corriger les différences entre les périodes secondaires), sont cohérents avec ceux du Robust Design.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

5.1 RESULTATS DE LA CMR PAR PHOTO-IDENTIFICATION

L'utilisation de la photo-identification pour le suivi des tortues vertes dans le lagon de Petite Terre a permis de réaliser une analyse de CMR et ainsi estimer la taille de la population dans le lagon. L'effectif semble stable depuis 2018 avec environ une cinquantaine d'individus. Les individus rencontrés dans le lagon sont quasi exclusivement des juvéniles (quelques observations d'adultes). Le lagon est une zone d'alimentation et de croissance temporaire pour ces individus avant de partir pour d'autres zones d'alimentation.

A chaque session primaire, 48% des individus rencontrés le sont pour la première fois. La population semble donc se renouveler très régulièrement. En Martinique le temps de résidence de tortues vertes immatures dans une baie donnée a été évaluée à plus de 2 ans et pouvant aller jusqu'à 70 ans (Siegwalt et al, 2020). Afin de mieux comprendre la dynamique de la population du lagon de Petite Terre, il faudrait évaluer le temps de résidence des individus ainsi que le taux de recrutement et le taux d'émigration.

5.2 UTILISATION POUR REpondre A DES OBJECTIFS DE GESTION DE LA RESERVE

Le suivi des tortues marines du lagon par photo-identification répond à la fiche action "CS10 - Etudier la répartition spatio-temporelle et suivre le comportement alimentaire des tortues marine" du plan de gestion 2020-2029 de la Réserve nationale des îles de la Petite Terre (stegastes consulting, 2020). En effet, cette action a pour but de **"dénombrer les tortues vertes dans le lagon, de caractériser leur répartition spatio-temporelle et de localiser leurs sites d'alimentation dans le lagon"**.

L'analyse de ces données avec des modèle de CMR permet de répondre à une partie de cet objectif en **identifiant individuellement les tortues** observées et en permettant le **suivi temporel de la population** par l'estimation de l'évolution de la taille de la population de tortues vertes du lagon et l'évaluation de paramètres de dynamique de population (ex., la probabilité de survie, temps de résidence).

Ce même jeu de données pourrait être analysé pour étudier **l'utilisation spatiale du lagon par les individus** comme initié en 2016 (Lange, 2016). Les données de localisation des tortues observée mise en lien avec des données individuelles (ex., classe de taille), contextuelles (ex., heure, saison) et des données cartographiques environnementales (ex., localisation des herbiers et algues, profondeur, localisation des corps morts) permettrait de mieux comprendre comment les tortues utilisent le lagon.

L'analyse temporelle et spatiale du jeu de données pourrait apporter des éléments de réponse à deux problématiques qui sont ressorties comme prioritaires pour la gestion de la réserve :

- **L'évaluation de l'impact de la fréquentation**

Analyse CMR : La fréquentation journalière sur la réserve est mesurée. Elle peut être utilisée comme covariable au modèle pour évaluer si elle a un impact sur l'effectif. Pour avoir de la variabilité dans les valeurs, il est important de mettre en œuvre le protocole lorsque la fréquentation est importante et lorsqu'elle est faible.

Analyse spatiale : L'utilisation spatiale du lagon par les tortues peut être mise en lien avec l'heure d'observation et en prenant en compte un paramètre de fréquentation. A l'heure actuelle, le protocole est mis en œuvre à l'arrivée et au départ des bateaux, la fréquentation est donc moins forte dans l'eau qu'à d'autres périodes de la journée. Il faudra se poser la question de la pertinence de faire des suivis à des heures de haute affluence.

- **L'évaluation de l'impact de la disparition des herbiers**

Analyse CMR : L'évolution de la taille de population mais aussi du temps de résidence dans le lagon peut être un indicateur sur la quantité et la qualité de ressource présente (Lelong et al, 2024). Cependant, pour établir un lien clair, il faut avoir une mesure de la ressource disponible (ex., surface d'herbier et d'algueraie et proportion par espèce) et voir si c'est une covariable explicative de l'évolution de la population.

Analyse spatiale : L'évolution de la distribution et de la nature de la ressource peut entraîner une évolution l'utilisation spatiale du lagon par les tortues en alimentation. La distribution des tortues en alimentation peut être analysée en lien avec la distribution des herbiers et algueraies.

5.3 MISE EN ŒUVRE DU PROTOCOLE PAR LES AGENTS DE LA RESERVE

Pour la bonne mise en œuvre du suivi, le binôme d'opérateur doit a minima comprendre une personne qui s'assure de bien respecter la durée et la couverture spatiale de la zone de prospection. Les données doivent être relevées selon un protocole identique afin de pouvoir produire des résultats fiables.

De plus, les opérateurs doivent s'appliquer à prendre des photos de qualité en suivant les instructions du protocole afin d'assurer une identification optimale des individus. Les photos floues, de profils incomplets ou avec trop d'angle rendent l'identification difficile ou parfois impossible et diminuent l'efficacité du processus général d'identification.

Comme indiqué dans le protocole, la bonne gestion des données tout de suite après chaque suivi (tracé GPS, données d'observation, photos) est cruciale pour une bancarisation correcte et complète des données. Cela implique donc d'emmener un ordinateur (et tous les connecteurs nécessaires) à Petite Terre à chaque session et d'avoir un opérateur qui maîtrise la bancarisation des données.

REFERENCES

- Higuero, E. (2015). *Application de la photo-identification comme méthode alternative de suivi des populations de tortues vertes, Chelonia mydas, en alimentation.*
- Jean, C., Ciccione, S., Talma, E., Ballorain, K., & Bourjea, J. (2010). Photo-identification method for green and hawksbill turtles - First results from Reunion. *Indian Ocean Turtle Newsletter*, 11, 8–13.
- Lange, L. (2016). *Suivi "Photo-Capture-Recapture" et comportemental d'une population de tortues marines Chelonia mydas en alimentation sur la Réserve Naturelle des îlets de Petite Terre.*
- Lelong, P., Besnard, A., Girondot, M., Hibold, C., Priam, F., Giraudeau, M., ... & Chevallier, D. (2024). Demography of endangered juvenile green turtles in face of environmental changes: 10 years of capture-mark-recapture efforts in Martinique. *Biological Conservation*, 291, 110471.
- Le Moal, A. (2020). *Suivi capture-marquage-recapture des tortues marines de la Réserve Naturelle des îlets de Petite Terre 2018-2020.*
- Papafitsoros, K., Panagopoulou, A., & Schofield, G. (2021). Social media reveals consistently disproportionate tourism pressure on a threatened marine vertebrate. *Animal Conservation*, 24(4), 568–579. <https://doi.org/10.1111/acv.12656>
- Pollock, K. H. (1982). A Capture-Recapture Design Robust to Unequal Probability of Capture. *The Journal of Wildlife Management*, 46(3), 752–757. <https://doi.org/10.2307/3808568>
- Schwarz, C.J. and Arnason, A.N. (1996) A General Methodology for the Analysis of Capture-Recapture Experiments in Open Populations. *Biometrics*, 52, 860-873. <http://dx.doi.org/10.2307/2533048>
- Siegwalt, F., Benhamou, S., Girondot, M., Jeantet, L., Martin, J., Bonola, M., ... & Chevallier, D. (2020). High fidelity of sea turtles to their foraging grounds revealed by satellite tracking and capture-mark-recapture: New insights for the establishment of key marine conservation areas. *Biological Conservation*, 250, 108742.
- Stegastes Consulting. (2020). *Plan de gestion 2020-2029 RNN des îlets de la Petite-Terre.*
- UICN Comité français, OFB, & MNHN. (2021). *La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitres Faune de Guadeloupe.*

ANNEXE 1

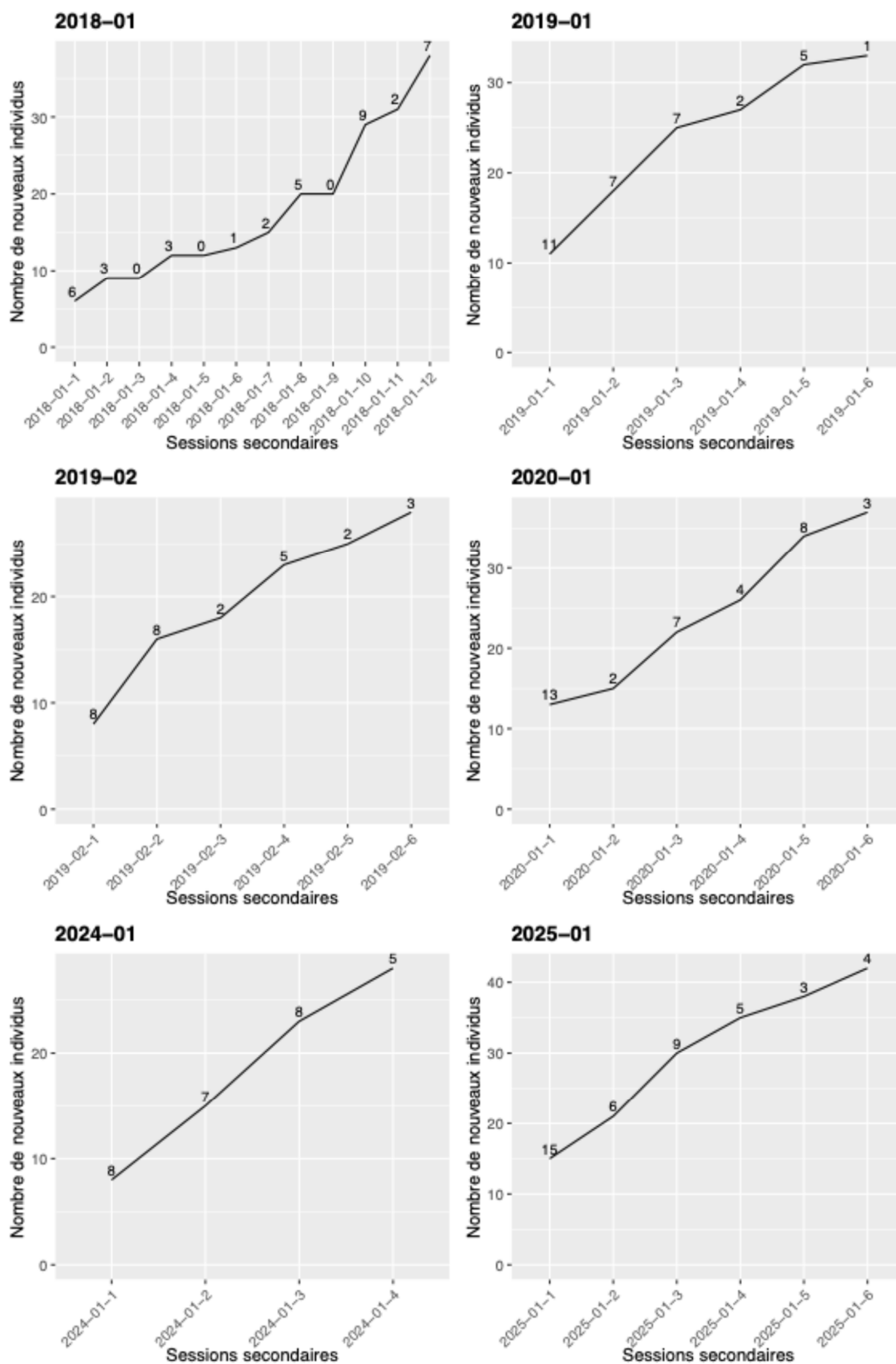


Figure 5. Courbes d'accumulation du nombre de nouveaux individus identifiés au cours des sessions secondaires pour chaque session primaire. Les chiffres au-dessous des courbes indiquent le nombre de nouveaux individus pour la session secondaire concernée par rapport au précédentes sessions secondaires de la session primaire.