

LES TRAVAUX SCIENTIFIQUES DU



ANALYSE DES POPULATIONS D'OISEAUX MARINS DE LA RESERVE NATURELLE NATIONALE DES ILETS DE SAINTE-ANNE

DYNAMIQUE DES EFFECTIFS, STRATEGIE DE GESTION CONSERVATOIRE & SUIVI SCIENTIFIQUE



Vincent BRETAGNOLLE & Carine PRECHEUR



Centre d'Études Biologiques de Chizé (CEBC)
Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)
79360 Villiers-en-bois

04/12/2012



Remerciements

Mes plus vifs remerciements s'adressent en premier lieu à l'équipe du Parc Naturel Régional de la Martinique et tous ses membres, pour leur soutien, leur encouragement, et leur aide sans compter: en particulier,

-Ronald Brithmer

-Patrice Laune

-Nadine Vénumière

-Fred Martail

-Jean-Claude Nicolas

-Maurice Mian

Merci à la direction du Parc d'avoir décidé de réaliser cette étude, de me l'avoir confiée et de l'avoir financé. En anticipation de la suite, merci à la DEAL également (et en particulier à Cyrille Barnérias) de s'être associée au Parc pour financer, avec la Région Martinique, le travail de thèse qui démarre sur les Puffins. Merci à Nadine Venumière d'avoir compilé tous les documents disponibles pour cette étude, et facilité la logistique et l'organisation de mes séjours.

Au laboratoire de Chizé, Audrey Sternalski m'a aidée pour la première campagne de terrain, Stéphanie Dano a réalisé les sexages moléculaires, et Delphine Bonnet a assuré la gestion financière.

Sur le terrain, au cours des trois séjours, j'ai bénéficié de l'aide logistique, mais aussi professionnelle et amicale des agents du Parc et de la réserve, en particulier Fred (pour les accras et le rhum) et Maurice (pour le reggae et le rhum)... A chacun de mes séjours, des participants bénévoles et des agents du Parc sont venus nous accompagner, que je remercie également.

Enfin, cette étude n'aurait pas vu le jour sans l'initiative d'ornithologues passionnés qui ont réalisé les opérations de baguage. Je pense tout d'abord à Pierre de Mercey, qui est venu me voir à Chizé dans les années 90 pour discuter avec moi puis mettre en place le protocole d'étude sur les Puffins. Merci à Ronald Brithmer, présent dès les débuts de cette étude, aujourd'hui Directeur du Parc, pour avoir, d'une manière ou d'une autre, soutenu ce suivi jusqu'à la réalisation de cette étude et sa concrétisation à travers le travail de thèse entamé en 2012. Et puis les nombreux ornithologues, professionnels ou amateurs : Fred Martail, David Belfan, Jean-Claude Nicolas, Béatrice Condé, Maurice Mian, Ronald Brithmer, Georges Tayalay, G. Jarry, Claude Moyon, L. Dubief, Séverine Raigné ainsi que les bénévoles ayant été d'une aide durant ces campagnes de baguage. La liste est certainement incomplète, les absents voudront bien m'excuser.

Pour finir, un remerciement tout particulier à Fred Martail, qui a assuré la gestion pendant toutes ces années de la base de données de baguage, a lui-même réalisé une bonne partie de ces opérations de baguage, m'a accompagné sur l'îlet au cours de mes deux premiers séjours, et a pris du temps en 2012 pour réactualiser la base de données avant de me la confier.

SOMMAIRE

I.	OBJECTIFS DE LA PRESENTE ETUDE.....	7
I.1	Un projet en deux phases	7
I.1.1	Phase 1. Analyse des populations d'oiseaux marins de la Réserve	7
I.1.2	Phase 2. Stratégie de gestion conservatoire, suivi scientifique	8
I.2	Périmètre, limitations et organisation du document.....	8
II.	LE SITE D'ETUDE, LA RESERVE NATURELLE DES ILETS DE SAINTE ANNE ..	9
II.1	Introduction	9
II.2	La Réserve Naturelle	10
II.3	Les suivis	12
III.	LE PUFFIN D'AUDUBON : ETAT DES CONNAISSANCES, ET ENJEUX EN MARTINIQUE.....	13
III.1	Présentation succincte du Puffin d'Audubon (<i>Puffinus lherminieri</i>)	13
III.2	Situation taxonomique et biogéographique.....	14
III.3	Tailles des populations et statut de conservation	15
III.4	Conclusions sur le statut du Puffin d'Audubon en Martinique.....	17
IV.	METHODES DE SUIVI DE LA COLONIE DE L'ILET HARDY, ET DE TRAITEMENT DES DONNEES	18
IV.1	Suivi des nids	18
IV.1.1	Protocole.....	18
IV.1.2	Fréquence des visites des nids.....	19
IV.1.3	Analyse des données et suivis de la reproduction	20
IV.2	Campagnes de baguage	20
IV.2.1	Protocole.....	20
IV.2.2	Préparation des données	20
IV.2.3	Analyses des données de baguage.....	22
V.	ANALYSE DE LA DEMOGRAPHIE DU PUFFIN D'AUDUBON ET DE LA DYNAMIQUE DE LA COLONIE DE L'ILET HARDY	24
V.1	Eléments de synthèse sur la phénologie et le succès de la reproduction.....	24
V.1.1	Ponte et incubation	24
V.1.2	Elevage des poussins	25
V.1.3	Succès de reproduction.....	25
V.2	Démographie et dynamique des populations du Puffin.....	27
V.2.1	L'effort de capture.....	27
V.2.2	Analyse des individus bagués jamais recapturés par la suite	28
V.2.3	Age de premier retour et estimation de l'âge de première reproduction.....	30
V.2.4	Analyse des taux de recapture de survie apparente chez les individus d'âge connu	31
V.2.5	Variations inter annuelles du taux de survie apparent et de la probabilité de détection chez les individus d'âge inconnu.....	34
V.2.6	Discussion des résultats : comparaison avec d'autres colonies étudiées.....	36
VI.	CONCLUSIONS, ANALYSES ET RECOMMANDATIONS POUR LE PUFFIN... 38	
VI.1	Bilan de l'étude démographique	38
VI.2	Analyse des menaces potentielles affectant la dynamique de la population de puffin	38
VI.2.1	Effets des rats sur les Puffins d'Audubon	39
VI.2.2	La prédation par le faucon pèlerin ou la compétition.....	40
VI.2.3	Le milieu marin, la pêche et les sites d'alimentation	40
VI.2.4	Effet de la lumière ambiante et de la colonie sur l'activité vocale.....	41

VI.3	La dynamique de la colonie à long terme	41
VI.4	Recommandations principales.....	42
VI.4.1	Concernant la colonie de reproduction.....	42
VI.4.2	Concernant le suivi des puffins	42
VII.	LES AUTRES OISEAUX MARINS DE L’ILET HARDY ET DE LA RESERVE DES ILETS SAINT ANNE: ANALYSE DES DONNEES RECOLTEES ENTRE 1997 ET 2007	44
VII.1	Protocoles d’étude standardisés	44
VII.1.1	Comptages visuels sur trois points d’observations fixes.....	44
VII.1.2	Réalisation de transects	45
VII.1.3	Suivis de nids fixes.....	45
VII.1.4	Bref historique des suivis réalisés	45
VII.1.5	Reconstitution des données quantitatives.....	46
VII.2	La sterne fuligineuse	47
VII.2.1	Effectifs	47
VII.2.2	Bilan de la chronologie de reproduction	47
VII.2.3	Succès reproducteur	48
VII.2.4	Conclusions et recommandations pour la Sterne fuligineuse.....	48
VII.3	Noddi brun.....	50
VII.3.1	Effectifs	50
VII.3.2	Chronologie de la reproduction.....	50
VII.3.3	Succès reproducteur	51
VII.3.4	Conclusions et recommandations pour le Noddi brun	51
VII.4	Sterne bridée.....	53
VII.4.1	Effectifs	53
VII.4.2	Chronologie de la reproduction.....	53
VII.4.3	Succès reproducteur	53
VII.4.4	Conclusions et recommandations pour la Sterne bridée	54
VII.5	Phaeton à bec rouge.....	56
VII.5.1	Reproduction, succès reproducteur et effectifs	56
VII.5.2	Conclusions et recommandations pour le Phaeton.....	57
VIII.	CONCLUSION ET ELEMENTS POUR LA GESTION ET LE SUIVI.....	58
VIII.1	La problématique des rats	58
VIII.1.1	Bref rappel historique.....	58
VIII.1.2	Contrôle des populations de rats et surveillance	59
VIII.2	Le braconnage et dérangement.....	59
VIII.3	Prédation.....	59
VIII.4	Le suivi sur les oiseaux marins (hors Puffin d’ Audubon).....	60
VIII.4.1	Suivi (monitoring)	60
VIII.4.2	Action conservatoires	60
IX.	BIBLIOGRAPHIE	62
X.	ANNEXES	66
X.1	Annexe 1	67
X.2	Annexe 2	68
X.3	Annexe 3	71
X.4	Annexe 4	72
X.5	Annexe 5	75
X.6	Annexe 6	76
X.7	Annexe 7	77
X.8	Annexe 8	78
X.9	Annexe 9	79

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Situation géographique de l'ensemble des quatre îlets de la Réserve de Sainte-Anne (Figure issue d'un rapport d'étude du Parc).....	9
Figure 2. Localisation géographique de la réserve naturelle des îlets de Sainte Anne (Martinique) (Prêcheur, 2009).....	11
Figure 3. Répartition des colonies d'oiseaux marins dans la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne en 1997 (Biotope, 2001).....	11
Figure 4. Le Puffin d'Audubon ; Photos : (1) : stade poussins du puffin d'Audubon ; (2) : stade juvénile ; (3) et (4): stade adulte ; (5) : aperçu de la galerie souterraine de l'îlet Hardy. Source : mémoire de Master C. Precheur.....	14
Figure 5. Distribution mondiale de <i>Puffinus lherminieri</i> . Source : http://www.scribciolo.com/w_paleartic/procellariidae5.htm	15
Figure 6. Carte de distribution mondiale du taxon <i>lherminieri</i> (source : http://www.globalspecies.org/ntaxa/828854). A noter que deux colonies ne figurent pas sur cette carte, situées au large des côtes brésiliennes.....	16
Figure 7. Répartition spatiale du puffin d'Audubon dans la Caraïbe (http://wicbirds.net/aush.html)	16
Figure 8. Répartition du Puffin d'Audubon dans les Petites Antilles (source Lowrie, Lowrie & Collier 2012)	17
Figure 9. Localisation des salles souterraines visitées (plan des galeries de l'Îlet Hardy tirée de Pinchon, 1976)	18
Figure 10. Schéma simplifié des différents états possibles que peut avoir un individu dans un modèle de CMR(Capture Marquage Recapture).....	22
Figure 11. Phénologie schématique de la reproduction du puffin d'Audubon de la RNNISA (bilan des données 1997 à 2007).	24
Figure 12. Modèles de détermination de l'âge du poussin : (a) : croissance de l'aile pliée en fonction de l'âge ; (b) : croissance du poids en fonction de l'âge (de Mercey, 1999).	25
Figure 13. Evolution du succès reproducteur du puffin d'Audubon de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne de 1998 à 2005 (sauf 2003).....	26
Figure 14. Taux de contrôle par jour de baguage au filet des puffins d'Audubon de l'îlet Hardy de 1995 à 2012 (B=baguage ; C=contrôle).A toutes les années, 1session de baguage (1jour) sauf en 1995 et 1996(2 sessions), et 1998(3 jours).	27
Figure 15. Détail des recaptures à partir données PUL (a), et des données VOL (b).....	28
Figure 16. Evolution du taux de puffins d'Audubon nouveaux bagués « VOL » de l'îlet Hardy et jamais recapturés par la suite, par année de 1995 à 2012.....	28
Figure 17. Evolution du taux de puffins d'Audubon bagués PUL de l'îlet Hardy jamais recapturés par la suite, par session de capture de 1995 à 2012.	29
Figure 18. Effectif des premiers retours des puffins bagués poussins (1995-2012).....	30
Figure 19. Détail des âges de retour des puffins bagués poussins de 1995 à 2007 sur l'îlet Hardy.	30
(La taille du rond orange est proportionnelle au nombre de poussins bagués par cohorte).....	30
Figure 20. Evolution du taux de recapture estimé des puffins d'Audubon de 1997 à 2012 de l'îlet Hardy.	34
Figure 21. Taux de survie des puffins d'Audubon de 1996 à 2012 de l'îlet Hardy.	34
Figure 22. Evolution inter-annuelle du taux de survie des puffins d'Audubon de 1995 à 2011 de l'îlet Hardy.....	35
Figure 23. Evolution des anomalies SST dans la Caraïbe (données NOAA).....	35
Figure 24. Evolution du taux de capture des puffins d'Audubon de 1996 à 2011 de l'îlet Hardy.	36

Figure 25.	Taux de survie adultes et âge de maturité chez différentes espèces de puffins..	37
Figure 26.	Evolution de l'effort de capture des rats et de l'effectif de rats capturés de 1999 à 2007.	39
Figure 27.	Carte de l'Ilet Hardy, montrant les trois points d'observation fixes à partir desquels les comptages sont réalisés, ainsi que les trois transects (deux pour les noddis, T1 et T2) et un pour la sterne bridée, en jaune.....	44
Figure 28.	Tendances sur le succès reproducteur des noddis (figure tirée du rapport de 2007).	51
Figure 29.	A gauche, succès reproducteur de la Sterne bridée (1997-2007). A droite, corrélation entre le succès reproducteur du noddid et de la sterne bridée.....	54
Figure 30.	Evolution des effectifs reproducteurs de Phaetons sur Hardy.....	56
Figure 31.	Succès reproducteur des Phaétons à bec rouge durant les suivis 2000 à 2007 ..	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Détail des suivis des nids des puffins d'Audubon réalisés dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy (RNISA) (Prêcheur, 2012).....	19
Tableau 2.	Détail des principales sessions de baguage au filet (1995 à 2012).	21
Tableau 3.	Estimateurs de succès de la reproduction de 1998 à 2006 (excepté 2003) du puffin d'Audubon de la RNNISA. Succès reproducteur : nb juvéniles à l'envol/nb œufs ; survie des œufs : nb poussins/nb œufs ; survie des poussins : nb juvéniles à l'envol/nb poussins (N2) ; D.N.E : données non existantes.....	26
Tableau 4.	Test du modèle CJS, $\phi(t) p(t)$ à partir des données PUL.....	31
Tableau 5.	Les modèles de taux de capture.....	32
Tableau 6.	Les différents modèles de survie testés successivement.	33
Tableau 7.	Test du modèle CJS, $\phi(t) p(t)$ à partir des données VOL.....	34
Tableau 8.	Modèles de survie successivement testés sur les individus d'âge inconnu.....	35
Tableau 9.	Effectifs de sternes fuligineuses dénombrées sur la réserve entre 1997 et 2007.	47
Tableau 10.	Phénologie de la reproduction des sternes fuligineuses sur la réserve entre 1997 et 2007.	48
Tableau 11.	Succès reproducteur de la sterne fuligineuse sur la réserve entre 1997 et 2007.	48
Tableau 12.	Effectifs de noddis dénombrés sur la réserve entre 1997 et 2007.	50
Tableau 13.	Phénologie de la reproduction des noddis sur la réserve entre 1997 et 2007.	50
Tableau 14.	Succès reproducteur des noddis sur la réserve entre 1997 et 2007.	51
Tableau 15.	Effectifs des sternes bridées dénombrées sur la réserve entre 1997 et 2007..	53
Tableau 16.	Phénologie de la reproduction de la sterne bridée sur la réserve entre 1997 et 2007.	53
Tableau 17.	Succès reproducteur de la sterne bridée sur la réserve entre 1997 et 2007. ...	54

I. OBJECTIFS DE LA PRESENTE ETUDE

Le Parc Naturel Régional de la Martinique a confié au Centre d'Etudes Biologiques de Chizé deux études portant sur les Oiseaux marins de la Réserve Naturelle des Ilets de Saint Anne. Ce site, riche en espèces d'oiseaux marins dont certaines ont une forte valeur patrimoniale, fait l'objet de suivis plus ou moins intenses et plus ou moins réguliers depuis 1995. Le Parc a souhaité obtenir une analyse rétrospective de ces suivis afin d'en dégager des perspectives de suivis et de gestion. C'est la mission qui a été confiée à Vincent Bretagnolle, chercheur au centre d'Etudes Biologiques de Chizé. Il s'est associé à Carine Precheur, doctorante qu'il encadre, pour le volet du rapport qui concerne plus spécifiquement les puffins.

Les sources concernant ces analyses reposent pour l'essentiel sur des rapports annuels qui ont été produits entre 1997 et 2007 (voir Annexe 1), ainsi qu'une analyse dans le cadre d'un rapport de Master (Carine Precheur, 2009). Notre objectif ici n'est pas de reproduire ces analyses, ni de produire un document exhaustif mais fastidieux à lire. Nous avons plutôt cherché à produire des analyses nouvelles. Nous nous sommes cependant permis à plusieurs reprises de reprendre en partie ces textes, lorsque ces parties sont essentielles à la compréhension mais que rien de nouveau n'était produit.

Par ailleurs, l'étude repose sur deux lettres de commandes distinctes (ou deux phases) mais liées.

I.1 Un projet en deux phases

I.1.1 Phase 1. Analyse des populations d'oiseaux marins de la Réserve

Les objectifs demandés pour cette étude sont:

- de réaliser un bilan des connaissances sur les espèces nichant sur la réserve grâce aux données récoltées de 1997 à 2009
- de dresser un état des lieux du statut de ces populations d'oiseaux marins (conservation, dynamique, menaces et risques)
- une synthèse de la bibliographie et des données existantes : rapports annuels de suivi (disponibles de 1997 à 2007, peut être après)
- des entretiens approfondis avec l'ensemble des personnes impliquées dans la collecte des données
- une analyse des bases de données de baguage des Puffins et des Pailles et queue
- une analyse de l'écologie des populations de puffins dans un contexte régional, car cette espèce est abondamment présente dans les Caraïbes, bien qu'elle ait fait l'objet de peu d'études

Le rendu de l'étude (correspondant au cahier des charges):

- Cartographie de la répartition spatiale de l'avifaune et son évolution au cours des années
- Estimation des effectifs pour chaque espèce quand les données le permettent
- Eléments sur la dynamique des populations de Puffins d'Audubon et de Paille en queue, incluant l'effet des rats.

Les données de terrain récoltées lors des suivis ornithologiques (1997 à 2007) et des séances de baguage (de 1995 à 2012) sont la base de cette étude. Elles permettront de définir les grands traits de la dynamique de population des puffins d'Audubon de la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne (RNISA) sur une échelle de 15 ans environ. Une modélisation de la dynamique temporelle de l'espèce à la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne sera amorcée.

-Une (au moins) publication scientifique associant les personnes ayant été impliquées auparavant, afin de valoriser le travail réalisé depuis plus de 12 ans.

I.1.2 Phase 2. Stratégie de gestion conservatoire, suivi scientifique

Les objectifs demandés pour cette étude sont:

- de favoriser la prise de décisions en termes de protection de la biodiversité et de gestion scientifique de la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne.
- à partir d'une évaluation patrimoniale de l'avifaune marine
- et d'une concertation avec les agents du PNRM chargés du suivi, des associations et des bagueurs
- en élaborant des propositions de suivi pour chacune de ces espèces en tenant compte des contraintes tels que l'accessibilité, les moyens financiers et humains
- ainsi qu'un schéma stratégique de gestion des ilots.

Proposition d'un protocole de suivi pour chacune des espèces nichant sur la réserve

Place de cette population d'oiseaux marins de la Martinique à une échelle régionale et une échelle mondiale

Eléments de stratégie de « monitoring » (suivi) à réaliser à l'avenir (tenant du suivi déjà réalisé)

Eléments de réflexion par rapport à d'autres études à engager (écologie alimentaire, effets de la pêche locale)

Eléments pour une stratégie de gestion des ilots et de leurs oiseaux marins

I.2 Périmètre, limitations et organisation du document

L'analyse demandée par le Parc couvre donc deux études distinctes (dont les lettres de commandes sont détaillées ci-dessus), mais qui vont être traitées en un seul document. Ce document est structuré en deux parties (mais qui ne correspondent pas aux deux phases), la première concernant le Puffin d'Audubon, pour lequel à la fois les enjeux sont plus importants mais aussi pour lequel les données disponibles sont également de haute qualité, et une deuxième partie qui concerne les autres espèces d'oiseaux marins.

Dans le cas des Puffins, la base de données de baguage m'a été remise en juin 2012. En fait, un long et fastidieux travail de comparaison de plusieurs bases a été nécessaire (base de données du Parc fournie par F. Martail ; base de données du CRBPO fournie par O. Dehorter ; et diverses versions antérieures des bases, ainsi que des synthèses de ces bases dans les rapports annuels). Ce travail a pris près de deux mois. Aujourd'hui, une base unique est disponible. Ce travail de recoupement a été réalisé par C. Precheur, qui a aussi été en charge de l'analyse des paramètres démographiques des puffins, et qui a rédigé cette partie du rapport. Elle est l'auteure principale des parties IV et V du présent document. Le reste du rapport a été rédigé par V. Bretagnolle.

Pour ce qui est des rapports d'études annuels, ils m'ont été fournis en juillet 2012 (1997 à 2007, 2002 étant manquant). Je n'ai pas eu accès aux données postérieures à 2007. Ainsi les tendances qui sont analysées ne tiennent pas compte des effectifs récents (depuis 5 ans), ce qui en limite du coup la portée.

II. LE SITE D'ETUDE, LA RESERVE NATURELLE DES ILETS DE SAINTE ANNE

II.1 Introduction

L'archipel de La Caraïbe comprend plus de 7000 îles, îlets, récifs et cayes et est situé à l'Est de l'Amérique centrale et au sud-est du Golfe du Mexique. La mer des Caraïbes, l'une des plus grandes mers du monde couvre une surface de 2 754 000 km². L'île de la Martinique est située dans l'archipel des Petites Antilles de la Caraïbe, au sud de l'île de la Dominique et au nord de l'île de Sainte Lucie. La côte Est de l'île est sous l'influence de l'océan Atlantique et subit une houle océanique et des Alizées souvent violents. La côte ouest, baignée par la mer des Caraïbes est abritée, la houle et les vents y sont moins importants. La Martinique a une superficie de 1128km² avec une longueur nord-sud de 60km environ et une largeur est-ouest variant de 12 à 30km. En Martinique, il existe deux réserves naturelles situées du côté Atlantique: la réserve de la Caravelle au Nord de la Martinique qui est partielle, et la réserve intégrale des îlets de Sainte-Anne, au sud. La gestion de ces réserves est assurée par le Parc naturel régional de la Martinique.

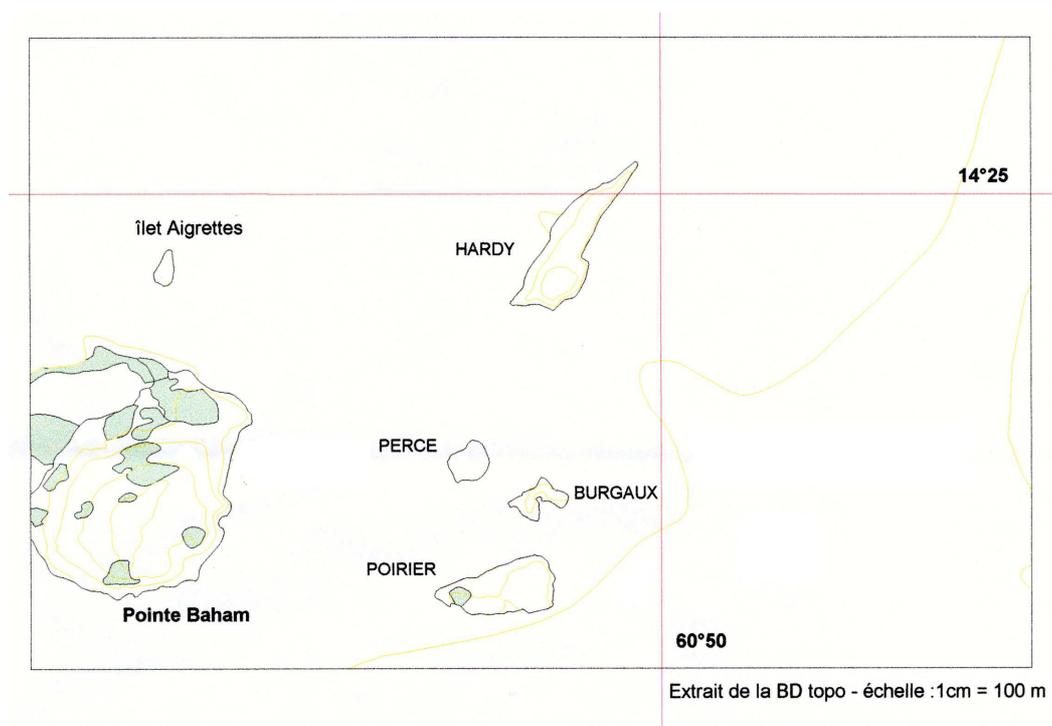


Figure 1. Situation géographique de l'ensemble des quatre îlets de la Réserve de Sainte-Anne (Figure issue d'un rapport d'étude du Parc)

Dans les années 80, sept espèces d'oiseaux marins (sur les 22 espèces d'oiseaux marins nicheurs dans les Antilles) nichaient sur les îlets de Sainte-Anne (Benito-Espinal et Haucastel 1988), le Puffin d'Audubon, le Noddi brun, la Sterne bridée, la Sterne fuligineuse, le Phaéon à bec rouge, la Sterne de Dougall et la Sterne pierregarin. Ces 2 dernières espèces de Sternes ne nichent plus sur ces îlets aujourd'hui. Les observations scientifiques réalisées par E. Benito-Espinal, en collaboration avec le personnel du Parc Naturel Régional de Martinique (PNRM), ont permis de soumettre le projet de création d'une réserve naturelle sur ces îlets. Ainsi, le 11 août 1995, la Réserve Naturelle des Îlets de Sainte Anne fut finalement classée par décret. Elle est administrée par deux organismes, le PNRM qui en assure la gestion scientifique, et l'Office National des Forêts qui est responsable de la surveillance et de

l'aménagement. Ce site exceptionnel de reproduction d'oiseaux marins est une richesse pour la Martinique mais également pour la Caraïbe. Cette réserve fait partie des Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux de la Caraïbe au vu des effectifs importants de certaines espèces d'oiseaux y nichant. De plus, cette réserve a été également inventoriée parmi tous les sites de reproduction d'oiseaux marins de la Caraïbe (Lemoine *et al.* 2008), ce qui lui confère une reconnaissance internationale.

Le premier suivi ornithologique annuel de la réserve commandité par le PNRM a eu lieu en 1997. Depuis 1997, elle fait l'objet de suivis scientifiques ornithologiques comme le prévoit le décret de création. Les paramètres estimés lors des suivis scientifiques sont :

- le dénombrement de la population de sternes fuligineuses par comptage au sol et parfois par photographies aériennes,

- la phénologie de reproduction (dates d'arrivée, de ponte et de départ) de la réserve et le succès reproducteur pour toutes les espèces d'oiseaux marins (sauf les sternes fuligineuses pour le succès reproducteur) déterminées à partir du suivi des nids de ces espèces,

- des éléments sur le comportement et la biologie des puffins d'Audubon et des Pailles en queue grâce aux sessions de baguage effectuées chaque année.

Des opérations de surveillance et de gestion sont également opérées sur le site. La prédation du rat déplorée sur les colonies d'oiseaux, des actions telles que les campagnes de dératisation ont également été mises en place sur le site.

II.2 La Réserve Naturelle

La Réserve Naturelle des Îlets de Sainte-Anne (RNISA), de latitude N14°20' et longitude W61°42' est située au sud-est de la Martinique, en communication avec l'océan Atlantique (Figure 1). Elle est constituée de quatre îlets dont le principal en terme de superficie est l'îlet Hardy (2.63 ha ; altitude maximale : 13m) et les trois autres sont les îlets Percé (0.54 ha ; altitude maximale : 6 m), Burgaux (0.49 ha ; altitude maximale : 7 m) et Poirier (2.10 ha ; altitude maximale : 8 m). L'îlet Hardy a une forme allongée, l'îlet Percé une forme arrondie, Poirier est plutôt ovale et Burgaux en forme de papillon.

La réserve couvre une superficie totale de 5 hectares 57 ares et 10 centiares. Selon l'arrêté établi en 2005, la RNISA est élargie à un périmètre de protection de 50 m. Le décret de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne établi en 1995, a été complété par un arrêté préfectoral en 2005. L'arrêté préfectoral de 2005 a permis de créer un périmètre de protection autour de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne. Un périmètre de 50m autour de chaque îlet de la réserve permet d'interdire l'accès à tout individu sauf dans le cas de ceux affectés pour la surveillance, la gestion et le suivi scientifique et également les services de l'état et la police municipale de Sainte-Anne pour des missions de police spécifiques. Dans un périmètre de 300m, le mouillage forain est interdit (art.2).

Les îlets de la réserve sont des plateaux coralliens exondés dont le substrat calcaire est pourvu de nombreuses dépressions tapissées d'argile de décalcification ; ce relief est de type karstique. Ils sont en partie cernés de falaises abruptes, de terrasses ou dalles rocheuses (en sous bassement, le plus souvent colonisées par des algues), de gros blocs rocheux, de bancs sableux, de plateaux de dépressions, des grottes et cavités (Hardy). Ce relief constitue un habitat disponible, un biotope, pour la nidification des oiseaux marins chaque année. Les deux tiers de la couverture végétale des îlets sont constitués par des formations basses rampantes, herbacées ou arbustives prostrées (Lurel, 2008). L'espèce végétative dominante est le pourpier bord de mer (*Sesuvium portulacastrum*). Sur l'îlet Poirier, comme son nom l'indique, on peut noter la présence un peu plus importante par rapport aux autres îlets de pourriers

(*Tabebuia pallida*). Cette végétation et ce relief témoignent des conditions arides du milieu, où les îlets sont exposés au vent et à une forte évaporation éolienne.

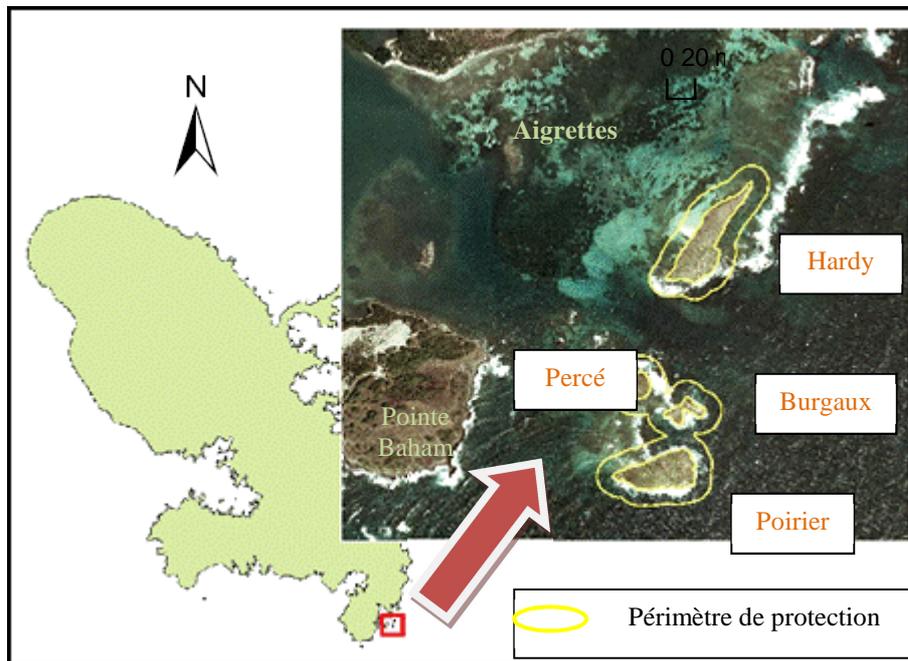


Figure 2. Localisation géographique de la réserve naturelle des îlets de Sainte Anne (Martinique) (Prêcheur, 2009)

Cinq espèces d'oiseaux marins sont présentes sur la réserve pendant une période de l'année pour nicher : le puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*), le Paille en queue (*Phaeton aethereus*), le nodd brun (*Anous stolidus*), la sterne fuligineuse (*Sterna fuscata*), la sterne bridée (*Sterna anaethetus*). Le merle (*Quiscalis lugubris*) espèce sédentaire est présent toute l'année sur le site. On observe en général, une répartition géographique des oiseaux marins nicheurs sur les îlets témoignant de la diversité des biotopes disponibles de la réserve (Figure 3).

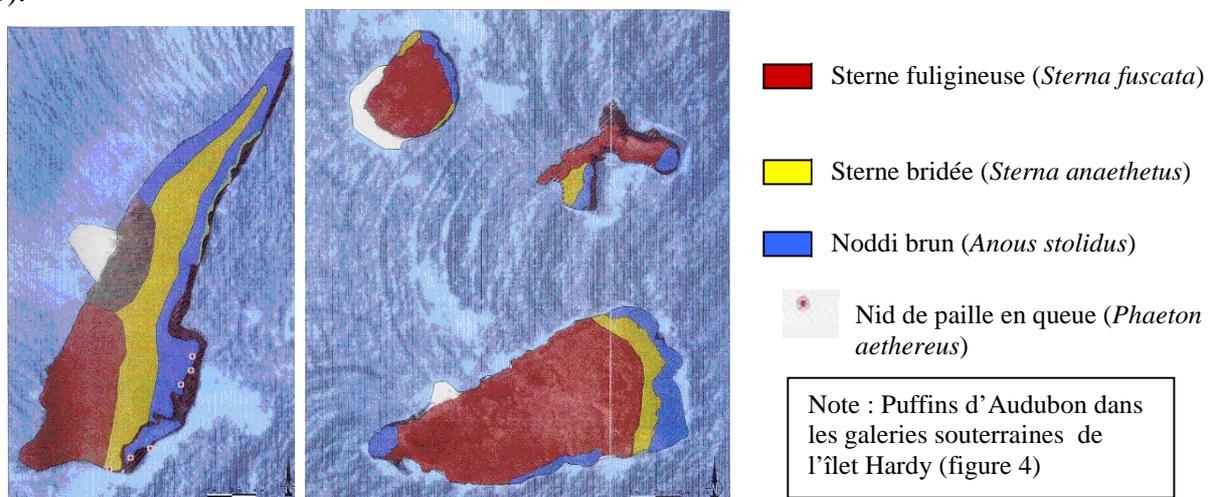


Figure 3. Répartition des colonies d'oiseaux marins dans la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne en 1997 (Biotope, 2001).

La présence de rats (*Rattus rattus*) a été établie en 1999 (mais les rats étaient semble-t-il présents avant) et l'éradication a permis de diminuer considérablement leur population (De Mercey et Jérémie, 1999).

II.3 Les suivis¹

Depuis 1997, le PNRM fait appel à des associations ornithologiques martiniquaises pour effectuer le suivi des populations reproductrices d'oiseaux marins nichant sur la Réserve Naturelle des Îlets de Sainte Anne. Et depuis 1999, ces mêmes associations sont chargées également d'effectuer une veille sur la présence de rats et de procéder à une campagne de dératisation. La première structure ayant commencé le suivi fut le Centre de Recherche Géographie Développement Environnement de la Caraïbe/Université des Antilles et de la Guyane (GÉODE – De Mercey 1997, 1998, et De Mercey et Jérémie 1999), puis ce fut l'Association Ornithologique de la Martinique (AOMA – Brithmer et Pascal 2001, Brithmer 2002, Jérémie 2003, Jérémie et Brithmer 2005). Et depuis l'année 2004, l'association Le Carouge a effectué comme cette année le suivi ornithologique de la Réserve Naturelle de Sainte Anne (Jérémie 2005, Raigné 2006 a, b). Après 2007, si des suivis ont continué à être réalisés, il n'existe pas de rapport de synthèse annuelle de ces suivis.

Le suivi ornithologique consiste en des comptages d'individus (reproducteurs et autres), des contrôles de nids (présence d'œufs, poussins, juvéniles, adultes), et en un programme de baguage pour les Puffins d'Audubon et les Phaétons à bec rouge.

La veille sur la présence de rats consiste à vérifier tout au long de l'année durant les visites suivi ornithologique, si des rats ou des traces de rats (crottes, traces de passages) sont observés, et de réaliser un contrôle ou une campagne de dératisation en octobre-novembre.

¹ Repris de l'un des Rapports annuels

III. LE PUFFIN D'AUDUBON : ETAT DES CONNAISSANCES, ET ENJEUX EN MARTINIQUE

III.1 Présentation succincte du Puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*)²

Le puffin d'Audubon est un oiseau marin pélagique appartenant à l'ordre des Procellariiformes. Cet ordre ne regroupe que des oiseaux marins et est composé de 4 familles : Diomedidae, Hydrobatidae, Pelecanoididae, Procellariidae. La famille des Procellariidae compte environ 79 espèces réunies en 14 genres. L'espèce appartient au genre *Puffinus* qui comprend les puffins de petite et moyenne taille. Celui-ci est étroitement lié à au genre *Calonectris* qui réunit les puffins de grande taille.

Le Puffin d'Audubon est protégé en France par l'Arrêté Ministériel du 17 février 1989. Son statut de conservation est LC (*Least Concern* : Préoccupation mineure). La population mondiale de Puffins d'Audubon est d'environ 500 000 individus³, dont 8 000 dans la Caraïbe (Schreiber and Lee 2000). Le Puffin d'Audubon est blanc ou clair dessous, son dos est brun foncé. Son bec est grand et ses pattes rosâtres. Les deux sexes sont semblables. Les juvéniles ressemblent aux adultes, et les sexes sont indistinguables.

Le Puffin d'Audubon se rencontre dans l'Océan Indien, le Pacifique Ouest, autour des îles Galápagos, et également dans la Caraïbe, et aux Bahamas. C'est un oiseau pélagique, ne revenant à terre que pendant la saison de reproduction. Il se reproduit en colonies, nichant dans de petits terriers ou dans des crevasses dans les rochers. La femelle dépose un seul œuf blanc. L'incubation dure environ 50 jours, assurée par les deux parents qui se partagent la tâche, alternant tous les 2 à 10 jours. Le poussin a un duvet grisâtre dessus, et blanc en dessous. Il est couvé pendant 3 à 7 jours. Il quitte la colonie vers 70 jours. Le Puffin d'Audubon se nourrit essentiellement de poissons, calmars et crustacés. La plupart des proies sont capturées à la surface, l'oiseau rasant l'eau. Pour nourrir les jeunes, les adultes peuvent voler chaque jour sur des centaines de kilomètres entre les colonies et les zones de pêche.

C'est une espèce dont l'écologie est globalement mal connue. Des études ont eu lieu aux Galapagos, et actuellement aux Seychelles.

Sur les îlots de Sainte- Anne, le Puffin d'Audubon fréquente les galeries souterraines de l'îlet Hardy (en particulier) et également dans des cavités rocheuses des îlots Burgaux et Percé (voir Figure 4 pour une planche photo). Son nid est peu élaboré avec une simple dépression dans le sol. Ce caractère comportemental très rare chez cette espèce (mais non unique, on trouve des puffins nichant dans des grottes par exemples en Polynésie) confère à cette colonie un aspect « endémique » d'importance internationale. Il a aussi permis la réalisation d'une étude démographique qui est pour l'instant sans équivalent au monde chez cette espèce.

² Une partie de ce texte provient de sites internet généralistes

³ Ceci dépend toutefois de la taxonomie adoptée ; voir ci-dessous

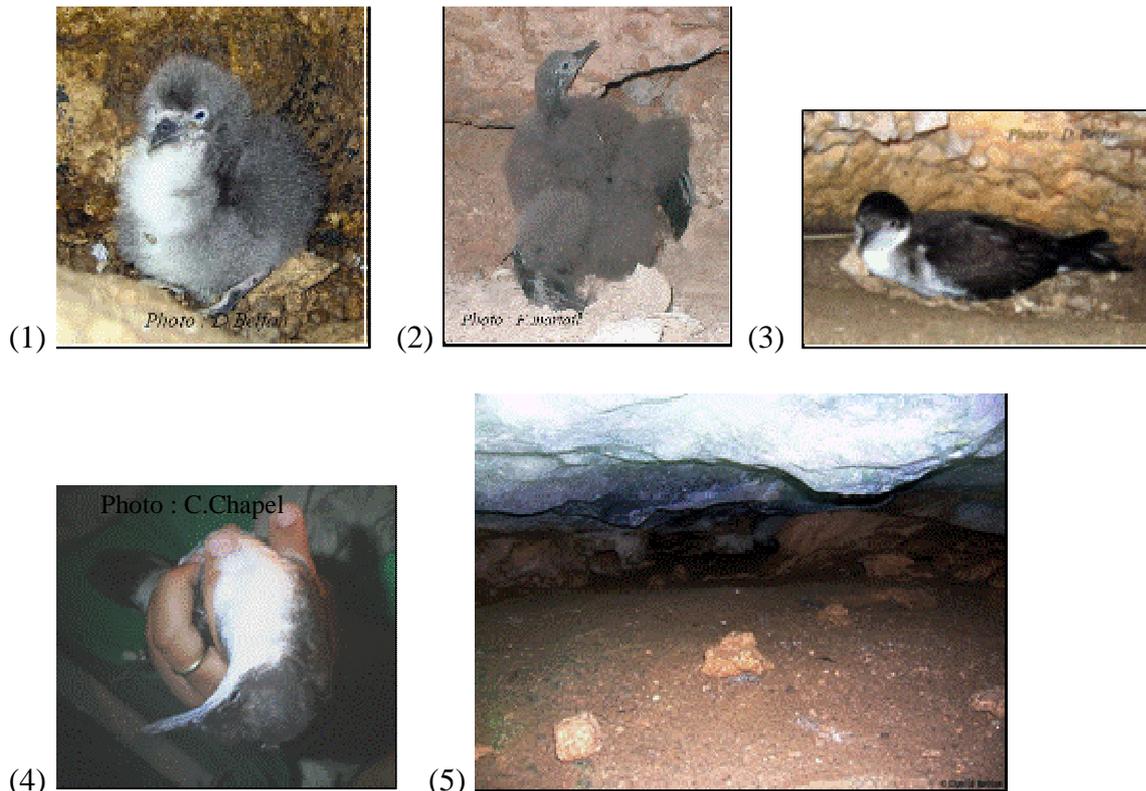


Figure 4. Le Puffin d’Audubon ; Photos : (1) : stade poussins du puffin d’Audubon ; (2) : stade juvénile ; (3) et (4): stade adulte ; (5) : aperçu de la galerie souterraine de l’îlet Hardy. Source : mémoire de Master C. Precheur

III.2 Situation taxonomique et biogéographique

La taxonomie de cette espèce est très discutée, et les limites d'espèces dans le clade de l'Atlantique Nord de puffins petits (*P. lherminieri*, *P. baroli*) ont suscité la controverse. Les puffins petits du complexe *Puffinus assimilis-lherminieri* comprennent environ 20 taxons actuellement reconnus, qui sont généralement divisés en deux espèces, *P. assimilis* et *P. lherminieri* (Jouanin & Mougouin 1979, Brooke 2004). Cet arrangement remonte à la revue de Murphy (1927), basée sur la coloration des lores, les parties supérieures, couvertures sous-caudales, la coloration des pattes et la zone océanographique dans laquelle les populations nicheuses se trouvent. Malheureusement, il existe des taxons qui représentent simultanément des caractères de différentes sous-espèces, et certains ont été dénommés 'intermédiaires' (par exemple Bourne dans Palmer, 1962). La forme la plus problématique du complexe est sans doute celle des îles du Cap-Vert, qui présente à la fois des caractères *lherminieri* et *assimilis* : *boydi* possède des sous caudales sombres et des primaires et secondaires ressemblant à celle de *P. lherminieri* (Fleming & Serventy 1943, Robb et al. 2008), mais il a les pattes bleues ce qui le rattache à *assimilis* (Murphy 1927, Witherby et al. 1940). La position taxonomique de *boydi* est d'ailleurs controversée depuis sa description (Mathews 1912) : certains auteurs l'ont classé comme *lherminieri* (Bannerman 1914, Murphy 1924, Mathews 1934, Jouanin & Mougouin 1979, Brooke 2004) tandis que d'autres l'ont placé *assimilis* (Murphy 1927, Witherby et al. 1940, Cramp & Simmons 1977, Dickinson 2003). Au point d'ailleurs que certains auteurs aient suggéré que tous les taxons *assimilis-lherminieri* devrait être regroupés en une seule espèce très variable (Hellmayr & Conover 1948, Vaurie 1965).

Une étude phylogénétique moléculaire récente a identifié trois clades majeurs dans le complexe (Austin et al 2004): un clade comprenant les taxons tropicaux; un clade du sud avec les taxons attribués à *P. assimilis*, et un clade de l'Atlantique Nord avec trois taxons (*lherminieri*, *baroli*, *boydi*). Les limites entre espèces et sous-espèces restent floues, particulièrement pour le clade de l'Atlantique Nord, pour lesquels quatre arrangements différents ont été récemment proposées par divers auteurs (Hazevoet 1995, Austin et al. 2004, Sangster et al. 2005, Onley & Scofield 2007, Olson 2010). Austin et al. (2004) suggèrent que des preuves supplémentaires seront nécessaires pour résoudre les limites entre les 3 sous-populations, mais Olson (2010) suggère que l'existence et la disparition d'une espèce aux Bermudes (*P. parvus*), indistinguable de *boydi* sur la base de l'ostéologie, et le fait que *lherminieri* a colonisé les Bermudes uniquement après l'extinction de *parvus*, et il interprète ceci comme la preuve que *parvus* (et donc *boydi*) et *lherminieri* sont deux espèces. Olson (2010) a également fait valoir que *baroli* diffère autant ou plus de *boydi* et *lherminieri* et que *baroli* devrait donc également être considérée comme une espèce distincte. Toutefois, ce point de vue n'a pas été appuyé par aucune analyse quantitative détaillée. Au final, pour ce qui relève de l'Atlantique Nord, nous sommes en présence de trois taxons bien différenciés, dont on ne sait pas s'il s'agit de 3 espèces ou 3 sous-espèces !

Dans la suite de ce document, nous considérerons que l'espèce *P. lherminieri* est confinée à l'Atlantique Nord (suivant l'étude d'Austin et al. 2004). Des études génétiques et comportementales sont actuellement en cours pour savoir si les trois populations de l'Atlantique Nord appartiennent ou non à des espèces distinctes. Mais en tout état de cause, nous savons déjà que le taxon *lherminieri*, des Caraïbes, représente un taxon différencié, que nous considérerons comme tel dans la suite de ce document, étant donc restreint à la partie Ouest de l'Atlantique Nord.

III.3 Tailles des populations et statut de conservation

Le Puffin d'Audubon au sens large (ancien) a une large distribution mondiale avec une surface de nidification globale estimée entre 50 000 et 100 000 km². Ils sont présents dans la zone intertropicale des trois océans : océan Atlantique, Indien et Pacifique. La population globale des puffins d'Audubon est de 500 000 individus (Brooke, 2004).

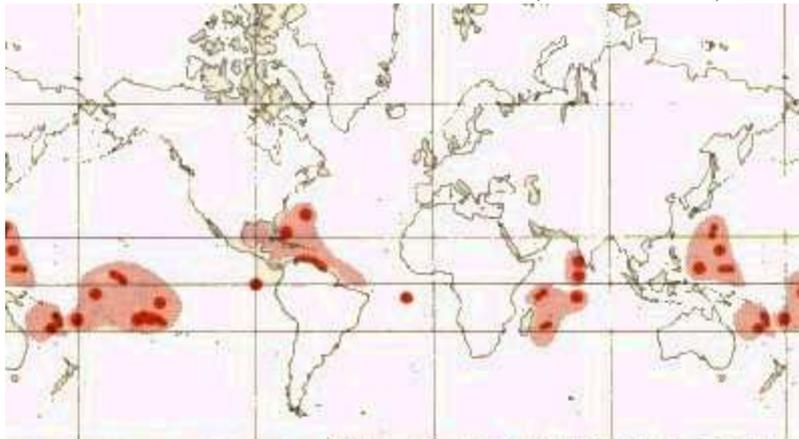


Figure 5. Distribution mondiale de Puffinus lherminieri. Source :
http://www.scricciolo.com/w_paleartic/procellariidae5.htm

Pour ce qui est du taxon *lherminieri*, sa distribution est donc confinée à la partie ouest de l'Atlantique Nord (Figure 6).



Figure 6. Carte de distribution mondiale du taxon *Iherminieri* (source : <http://www.globalspecies.org/ntaxa/828854>). A noter que deux colonies ne figurent pas sur cette carte, situées au large des côtes brésiliennes.

Il occupe une large zone de la Caraïbe, des Grandes aux Petites Antilles : on dénombre 23/38 îles où les puffins sont présents. Les Antilles abritent de nombreux sites de nidification pour le puffin d’Audubon. Des grandes Antilles aux Petites Antilles (Figure 5), soit une distance de 3500 km, cet oiseau marin est présent. La plus grande population de cette espèce se trouve aux Bahamas (Lee, 2000). Ils sont dispersés dans les mers tropicales en période de non reproduction. Ces oiseaux suivent la direction du Gulf Stream vers le nord et sont communément rencontrés au large de la Caroline du sud, au nord de New Jersey et de New York. Avec les tempêtes, certains sont conduits dans d’autres zones du bassin Atlantique.

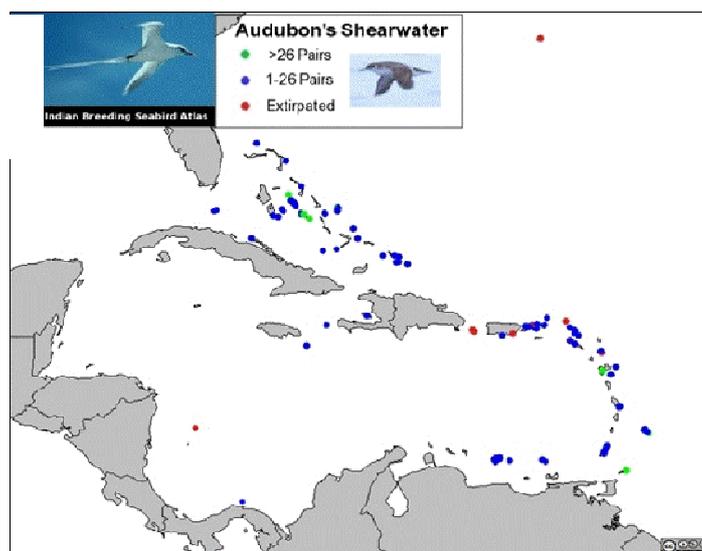


Figure 7. Répartition spatiale du puffin d’Audubon dans la Caraïbe (<http://wicbirds.net/aush.html>)

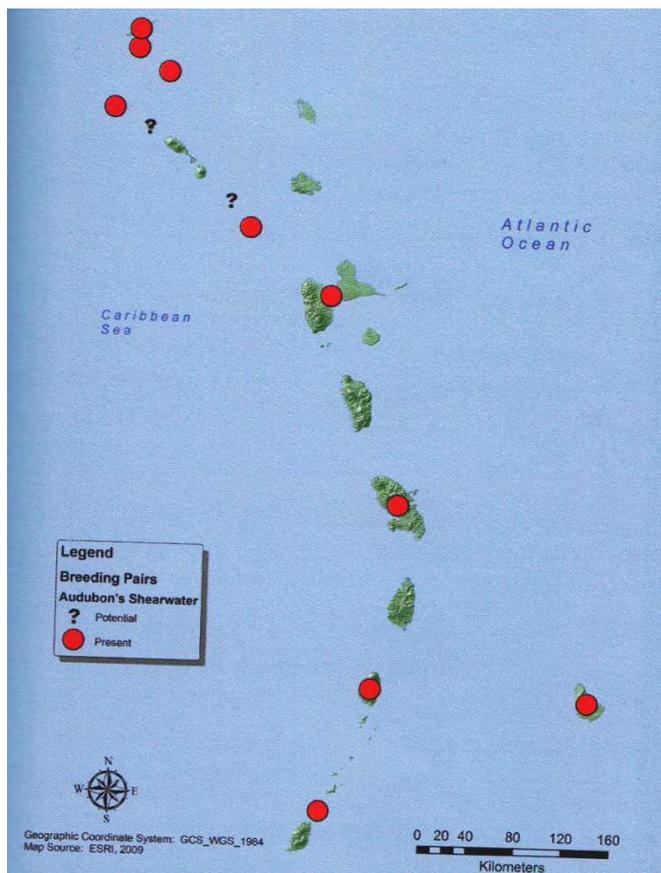


Figure 8. Répartition du Puffin d'Audubon dans les Petites Antilles (source Lowrie, Lowrie & Collier 2012)

Le puffin d'Audubon, dans les Antilles françaises, est observé en Martinique, Guadeloupe, à la Désirade et à Marie-Galante (Leblond, 2003). Il est présent également à Saint-Barthélemy et Saint-Martin. L'effectif reproducteur exact n'est cependant pas connu.

En Martinique, actuellement aucun autre site de nidification n'est observé à part celui de la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne. Il avait été signalé la présence de cette espèce sur le rocher du Diamant (Pinchon, 1963) mais elle n'a pas été vérifiée lors de l'inventaire en 2005 (Levesque, 2005). Pourtant, V. Bretagnolle a retrouvé et confirmé l'existence de cette population, sans doute de taille très modeste, sur le Rocher du Diamant en Janvier 2012.

Cette espèce nidifie dans des sites

difficiles d'accès tels les falaises et les îlots ce qui limite leur étude en général. Il n'y a donc pas beaucoup d'estimation des effectifs de cette espèce.

III.4 Conclusions sur le statut du Puffin d'Audubon en Martinique

On constate semble-t-il une diminution au fil des années de l'effectif de la population de la sous espèce *P. l. lherminieri*. En 1984, Halewyn & Norton estiment l'effectif des puffins d'Audubon des Antilles à 5000 couples et en 2000, Lee comptabilise 3000 à 5000 couples de puffins d'Audubon. Récemment, selon un document non officiel, l'effectif de la population varie entre 1600 et 3800 couples. Dans la Caraïbe, la population de puffins d'Audubon, relativement à d'autres populations, est de petite taille et en diminution. Elle est considérée comme menacée par Schreiber et Lee (2000). Sur le plan taxonomique, la population Martiniquaise appartient au taxon *lherminieri*, qui totalise 2700 couples selon la toute dernière estimation (Sangster et al. unpublished). Ce taxon est principalement présent dans les Bahamas. Pour ce qui est des Petites Antilles, le nombre de colonies actuellement connues est de 10, réparties sur 7 archipels. La colonie de la RNNISA est, au vu des données disponibles, la plus importante numériquement (mais des chiffres ne sont avancés que pour 5 des 10 colonies connues). En se basant sur un effectif martiniquais de 100 couples reproducteurs (ce qui est peut-être un peu élevé), la Martinique accueillerait :

- 4 % de l'effectif mondial de ce taxon
- 48 % de l'effectif connu dans les Petites Antilles
- la colonie numériquement la plus importante (connue) des Petites Antilles
- la seule population au monde pour ce taxon se reproduisant dans une grotte

Les enjeux sont donc clairement forts pour cette petite population.

IV. METHODES DE SUIVI DE LA COLONIE DE L'ILET HARDY, ET DE TRAITEMENT DES DONNEES

Depuis la création de la réserve naturelle nationale des îlets de Sainte-Anne (RNNISA), ont été opérés de 1998 à 2007 des suivis des nids de la colonie de puffins d'Audubon nichant sur l'îlet Hardy par le gestionnaire du site le Parc naturel régional de la Martinique (PNRM). En parallèle, à l'initiative d'ornithologues passionnés, des opérations de baguage de ces oiseaux ont pu être menées permettant à ce jour l'existence d'une base de données de baguage du puffin d'Audubon de 17 années (1995 à 2012). Parmi eux : Fred Martail, David Belfan, Jean-Claude Nicolas, Béatrice Condé, Maurice Mian, Ronald Brithmer, Georges Tayalay, G. Jarry, Claude Moyon, L. Dubief, Séverine Raigné ainsi que les bénévoles ayant été d'une aide durant ces campagnes de baguage.

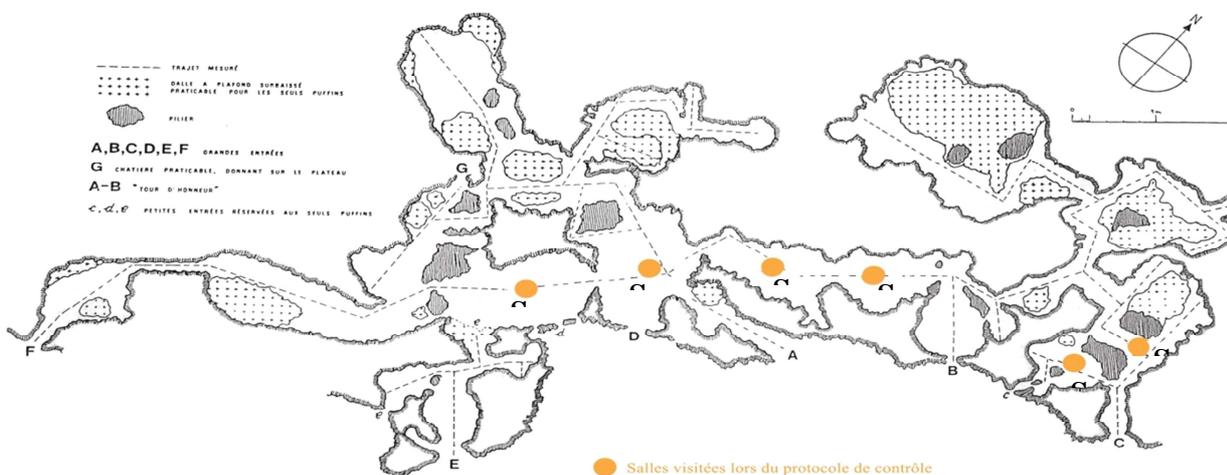
IV.1 Suivi des nids

IV.1.1 Protocole

Le suivi des nids a été réalisé de 1998 à 2007, arrêté depuis cette date. Il a permis d'estimer plusieurs paramètres démographiques : caractérisation du cycle de reproduction (estimation de la durée de couvain, dates d'éclosion et d'envol des petits, comportement entre partenaires...) et évaluation du succès de reproduction.

Les puffins d'Audubon étant des oiseaux assez sensibles au dérangement surtout pendant la période d'incubation, le protocole de suivi des nids a été adapté en ce sens. Celui-ci a été établi en 1999 (De Mercey & Jérémie, 1999 ; annexe 2) et modifié en 2001 (Nicolas, Martail, Mian, Brithmer et Vénumière, 2000, document non publié ; annexe 3). La principale préoccupation a été de limiter le dérangement des oiseaux tout en gardant la rigueur scientifique nécessaire lors de l'étude d'une espèce pour permettre une bonne exploitation des données.

Figure 9. Localisation des salles souterraines visitées (plan des galeries de l'Îlet Hardy tirée de Pinchon, 1976)



On fixe à une vingtaine, le nombre de nids qui est suivi tout au long du cycle de reproduction. Lors de la visite des nids, les observateurs évitent d'éblouir les oiseaux avec leur lampe frontale. Ils restent à distance des oiseaux (un mètre) et avec une baguette, soulèvent délicatement les plumes du bas ventre de l'oiseau pour vérifier la présence d'un œuf sous son corps. Les nids sont marqués et positionnés sur la carte du réseau de galeries de l'îlet Hardy. Les numéros des nids ne sont pas fixes au fil des années.

Les suivis sont effectués une fois par mois à partir du début de la ponte dans le premier protocole. Le deuxième permet un suivi plus soutenu avec une visite des nids tous les quinze jours. Lors de ces visites, la présence de prospecteurs, de nicheurs, d'œufs, de poussins, de juvéniles sont notés. Le juvénile se différencie du poussin par l'apparition des premières plumes de l'oiseau. A un stade juvénile plus avancé, la proportion de plumes est plus importante que celle du duvet. Des cadavres ont été observés également durant ces suivis permettant une estimation de la prédation exercée sur les puffins.

IV.1.2 Fréquence des visites des nids

Le suivi des nids des puffins d'Audubon s'est déroulé dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy qui regroupent la majorité de l'effectif de la population de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne. Six salles ont fait l'objet d'un suivi régulier : les salles 2, 3, 4, 5, 11 et 12. Si cela ne provoque pas un dérangement des nids situés dans les salles 2 et 5, les salles 7 et 6 peuvent être prospectées. En général, suivant les périodes, 1 à 3 personnes pouvaient assurer les visites au nid. A plusieurs, le travail était réparti entre les différentes salles du protocole.

En moyenne, 55.5% des suivis effectués (n= 9 années, entre 1999 et 2007) ont débuté en janvier, les autres années un à trois mois plus tard. Les suivis ont été réguliers dans 66.7% des cas (n=7), avec une périodicité de 15 jours en général (Tableau 1). En 2005, l'intervalle entre les suivis est assez important mais cela est dû au fait que les observateurs amenés à passer très près des nids ont choisi de ne pas suivre les nids durant le mois d'avril pour éviter le dérangement des oiseaux (Carouge, 2006). Les deux dernières années (2006 et 2007), on observe une diminution du nombre de nid suivis avec 12 nids comptabilisés. Au fil des années, selon les observateurs, les nids étaient moins fréquents dans les salles du protocole et il était plus difficile d'obtenir une vingtaine de nids pour réaliser le suivi.

Tableau 1. Détail des suivis des nids des puffins d'Audubon réalisés dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy (RNISA) (Prêcheur, 2012)

		1998*	1999*	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
période des suivis		N.D	25/02 au 15/05	17/02 au 20/07	12/01 au 7/06	8/03 au 25/07	15/04 au 01/08	19/01 au 17/07	17/01 au 21/07	05/01 au 06/07	13/01 au 07/04
intervalles entre les suivis (jours)	moyenne	N.D	N.D	25	12	7	21	17	30	17	19
	écart type	N.D	N.D	9	6	3	17	7	22	9	6
Période des suivis (jours)		N.D	N.D	155	147	140	110	181	186	185	85
nombre de visites de nids		N.D	N.D	7	12	18	6	11	7	11	5
nombre de nids		17	18	23	20	24	19	20	12	12	D.I

* : données extraites (de Mercey & Jérémie, 1999) ; N.D : Non Détaillé (pas pris en compte dans les pourcentages) ; D.I : données insuffisantes.

IV.1.3 Analyse des données et suivis de la reproduction

Les différentes étapes du cycle de reproduction du puffin (arrivée, installation définitive, ponte, éclosion, période d'élevage des poussins, départ) sur une période de dix ans (1997 à 2007), ont pu être quantifiées. La ponte de l'œuf a été estimée à partir de la période d'incubation de l'œuf et calculée à 3 reprises, en 1998, 2001 et 2002 (De Mercey et Jérémie, 1999 ; AOMA, 2001 et 2002). La date de dernière présence de l'œuf est déduite de la période d'incubation et ainsi on obtient la date approximative de la ponte. La présence des poussins détermine la période approximative de la date de l'éclosion. La période correspondant au départ de la colonie de puffins d'Audubon est évaluée avec le pourcentage d'absence dans les galeries après que le stade juvénile ait été atteint.

Les valeurs du succès d'éclosion (nb poussins/ nb œufs), du succès à l'envol (nb juvéniles/ nb poussins) et du succès de reproduction global (nb juvéniles/ nb œufs) ont pu être calculées entre 2000 et 2006. L'annexe 4 résume les données brutes des suivis de nids, avec le calcul du pourcentage de présence du Puffin à ses différents stades (œuf, poussin, juvénile, adulte). Suivant les années, le nombre de visites de nids est parfois faible, ou alors la fréquence des suivis trop irrégulière, et dans ces cas l'estimation de certaines étapes de la nidification n'a pu être réalisée. Les observations fournies en plus dans les rapports permettent de nuancer ou renforcer certaines constatations.

IV.2 Campagnes de baguage

IV.2.1 Protocole

Deux types de séances de baguage ont été effectués : le baguage au nid et le baguage au filet. La première méthode consiste à baguer les individus retrouvés dans la galerie souterraine de l'îlet Hardy. On essaye de capturer le maximum d'individus accessibles. Elle permet de capturer, en plus par rapport au baguage au filet, les poussins qui n'ayant pas la capacité de voler ne peuvent être capturés que dans leur nid. Le baguage au nid se déroule dans la journée alors que le baguage au filet est effectué à l'aube (de 3h et 5h du matin en général), profitant du départ en mer des puffins pour les capturer à la sortie des grottes. A partir de 1998, le baguage est effectué à l'aube plutôt que la nuit permet d'éviter que l'adulte régurgite la nourriture qu'il apporte à sa progéniture le soir.

Lors du baguage au filet, le maximum d'entrées des grottes doit être obstrué de manière à ce que les sessions de baguage soient comparables entre elles. Lors des séances de baguage, les bagueurs procèdent à la pose de la bague en acier au tarse de l'oiseau (si l'individu n'est pas déjà bagué) et aux mesures biométriques suivantes : bec, tarse, aile pliée et poids. Les sessions de baguage au nid s'étalent durant la période de reproduction de janvier à juin. Les principales captures au filet ont été effectuées au mois de mai. C'est la période de transition poussin/juvénile, où la colonie est moins sensible au dérangement.

IV.2.2 Préparation des données

La base de données de baguage couvre 17 ans, de 1995 à 2012 (excepté 1999, où aucune bague n'a été posée et aucun contrôle, ou presque, réalisé). L'essentiel provient de Hardy, mais du baguage a été réalisé sur les autres îles. Sur l'îlet Burgaux, il y a eu 54 captures de 2001 à 2007 (excepté 2005) ; sur l'îlet Percé, 17 captures de 2001 à 2007 (excepté 2003 et 2005). Avec un effort de capture moindre (3% du total de captures par rapport à Hardy,

n=2199 captures), aucun individu en provenance de ces îles n'ayant de plus été recapturé sur Hardy, les captures sur ces deux îlets ne seront pas prises en compte par la suite.

On distingue 3 types de sessions de capture sur l'îlet Hardy:

- la plus importante session de capture où l'effort de capture est maximal, principalement en mai ; à l'aide de filets la majorité des entrées de la galerie souterraine où niche les puffins sont obstruées.

-durant la même période, l'après-midi, de 1995 à 2007(excepté 1999), il y avait un gros effort de capture des poussins lors du baguage au nid. A d'autres mois de la saison de reproduction, le baguage au nid, lui, était occasionnel (lors des suivis de ponte).

-dans le cadre de l'étude lancée en 2012, il y a eu du baguage au filet depuis janvier 2012, et 1,2 voire 3 cavités étaient obstruées.

L'effort de capture est donc très hétérogène, avec des durées de capture, un nombre d'entrées obstruées, un nombre de jours consécutifs de baguage, une période lunaire différente, une période de capture variables et 2 types de baguage ciblant dans le cas du baguage au nid la capture des poussins. Ceci n'est pas sans conséquences sur les analyses. On remarque néanmoins que 95% des captures ont été effectuées entre les mois de mai (82,76%), d'avril (7.09%) et de juin (1ère semaine, avec 5.14%).

Tableau 2. Détail des principales sessions de baguage au filet (1995 à 2012).

Année de baguage	Dates des sessions de capture	Nombre total d'individus capturés	importante session de baguage au filet (mois de mai(M), avril(A), juin(J))
1995	30/04/1995	80	ConformeA
	16/06/1995	24	ConformeJ
1996	17/05/1996	55	ConformeM
	24/05/1996	94	ConformeM
1997	15/05/1997	50	non conformeM
1998	01/05/1998	13	ConformeM
	02/05/1998	112	ConformeM
	03/05/1998	38	ConformeM
2000	12/05/2000	50	non conformeM
2001	12/05/2001	114	ConformeM
2002	12/05/2002	111	ConformeM
2003	22/05/2003	119	ConformeM
2004	09/05/2004	135	ConformeM
2005	15/05/2005	94	ConformeM
2006	08/05/2006	102	ConformeM
2007	27/05/2007	72	ConformeM
2008	11/05/2008	86	ConformeM
2009	16/05/2009	53	ConformeM
2010	15/05/2010	75	ConformeM
2011	14/05/2011	96	ConformeM
2012	02/06/2012	72	ConformeJ

Afin de diminuer cette hétérogénéité, un sous jeu de données, par tri, a été mis en place. Pour conserver un effort de capture homogène (type de baguage, nombre d'entrées obstruées) suivant les années, une période de capture similaire pour considérer le même sous échantillon, on ne considérera que les importantes sessions de baguage au filet (tableau 2). Par ailleurs, une séparation des données a été effectuée selon 2 niveaux :

-un tri des données de baguage au filet où seules les sessions de captures importantes annuelles ont été conservées (soit en général une session de capture par année (annexe 5).

-pour les analyses sur Mark, 2 jeux de données distincts :

- un jeu de données avec l'histoire de captures des individus bagués d'âge connu, c'est-à-dire les individus bagués poussins au nid, dénommé « **données PUL** »,
- un jeu de données avec des individus d'âge inconnu, les « VOL » (immatures et reproducteurs), dénommé « **données VOL** »;

IV.2.3 Analyses des données de baguage

Dans un premier temps nous reportons des statistiques de base sur **les sessions de baguage au filet** de 1995 à 2012, concernant l'évolution et la tendance de l'effort de capture et du taux d'individus contrôlés par session de capture. Pour chaque cohorte, les taux d'individus jamais recapturés au cours des années suivantes sont produits.

Le baguage des poussins de 1995 à 2007 nous permet d'évaluer **le premier âge de retour des individus** et estimer **l'âge de recrutement sur la colonie**.

A partir de **l'estimation du taux de survie des immatures et des adultes**, nous pourrions évaluer les paramètres démographiques de la population de puffins d'Audubon de la RNISA. Nous avons utilisé pour cela, le logiciel Mark et le modèle CMR (capture marquage recapture) « classique ». Le principe est de considérer les séances de captures et de marquage effectuées de 1995 à 2012 sur l'îlet Hardy. A chacune de ces séances, ont été noté le nombre d'individus déjà marqués et bagués les individus non marqués. Ces données ont été retranscrites en des histoires de recapture de chaque individu avec comme indication 0 lors de non capture et 1 lors de capture. Une histoire de capture, pour un individu donné, est donc une suite de (0,1), par exemple « 0100111010111101 ». L'avantage de ce modèle est qu'il fonctionne avec des populations ouvertes (c'est-à-dire qu'il prend compte la natalité, l'immigration et la mortalité). Le modèle de CMR utilisé ici est le modèle de Cormack-Jolly-Seber (CJS) et permet d'estimer le taux de survie apparent et la probabilité de détection de l'oiseau (figure 10)

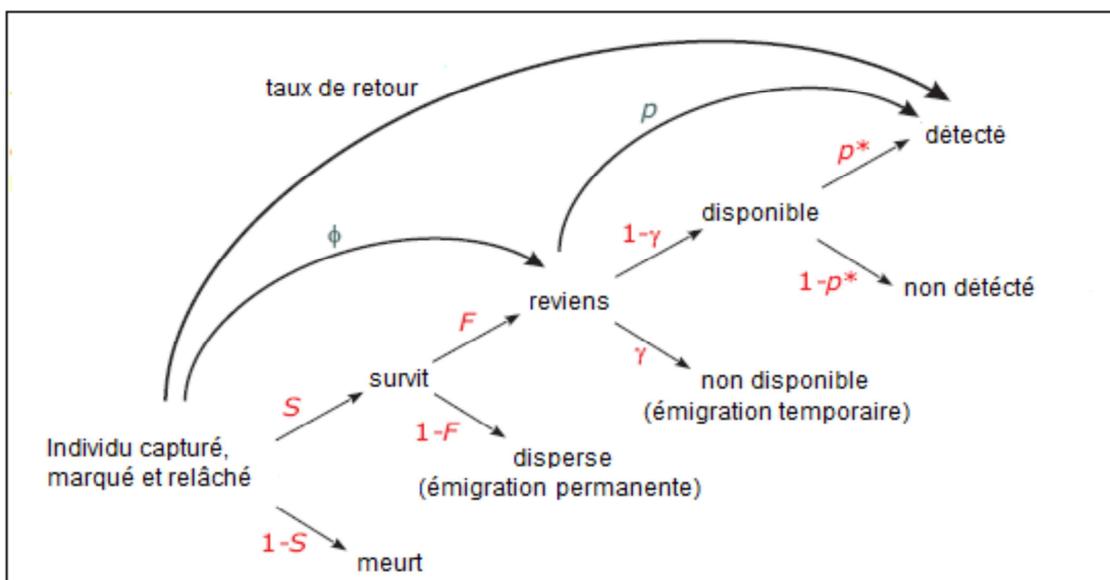


Figure 10. Schéma simplifié des différents états possibles que peut avoir un individu dans un modèle de CMR (Capture Marquage Recapture)

S est la survie ; F est la probabilité de revenir ; gamma et p ne seront pas considérés dans notre analyse. Phi est la survie apparente, et p la probabilité de recapture

Il est en pratique impossible de recapturer tous les individus présents sur le site à une session de capture. La probabilité de détection est donc toujours inférieure à 1. Ici c'est bien la survie apparente qui est estimée car on ne distingue pas si les individus non revus sur le site sont morts ou ont dispersé de manière définitive (émigration permanente). Le taux de survie est calculé à partir de la probabilité de capturer un individu à nouveau s'il est encore vivant prenant donc en compte la non détection d'un individu présent sur le site et aussi l'émigration temporaire.

L'utilisation du modèle CJS requière 5 conditions préalables : l'indépendance des individus à la capture, l'homogénéité dans les probabilités de capture entre les individus dans le temps, l'absence de perte de bagues, des opérations de capture instantanée, et que tous les individus relâchés. Préalablement, avec le logiciel U-CARE, un test d'ajustement des données de type χ^2 ou test de G (*Bootstrapping et release*) est effectué pour vérifier l'homogénéité des probabilités de captures. Il est similaire à une ANOVA. Deux types de tests sont effectués : le test transience et le test trap dépendance. Le but de ces tests est de comparer le nombre d'individus recapturés subséquentment *versus* ceux jamais recapturés, entre les individus nouvellement marqués (à la capture i) et ceux déjà marqués (individus marqués avant la capture i et capturés au moment i ; = m_j). La transience indique que la probabilité de capturer des « vieux » individus est plus importante que celles des « jeunes » individus. Dans ce cas, on observe un excès d'individus capturés une seule fois. Cela indique des effets permanents dus par exemple à une hétérogénéité dans la survie. La trap dépendance quant à elle, indique que les individus après leur première capture auraient tendance à éviter le filet (trap-shyness) ou à revisiter le piège (trap hapiness). Cela indique des effets temporaires associés à une hétérogénéité dans les probabilités de recapture.

Puis par le biais du test LRT et de l'analyse de l'AIC on évalue le modèle le plus approprié à nos données de baguage. Sur les 2 jeux de données ont été évalués les meilleurs modèles, c'est-à-dire les plus parcimonieux (utilisant le moins de paramètres à estimer), estimant le taux de survie apparent et la probabilité de détection. De plus ont été évaluées si les conditions biologiques (effet âge), les conditions climatiques (effet el nino, NAO⁴, anomalie de SST⁵), les conditions de capture (nombre de jours de baguage, conformité des sessions de baguage) qui pouvaient expliquer davantage les variations du taux de survie et de la probabilité de détection.

Quelques définition des termes :
- <u>Taux d'individus contrôlés par session de capture</u> : correspond au nombre d'individus recapturés (contrôle) sur le nombre total d'individus capturés durant la session de capture.
- <u>Probabilité de détection</u> (ou probabilité de capture): prend en compte le fait qu'un individu encore vivant puisse être non détecté alors que présent sur le site et également un individu en émigration temporaire (exemple : les individus juvéniles qui reviendraient après 4, 5 ans pour se reproduire).

⁴ North Atlantic Oscillation

⁵ Pour « Sea Surface Temperature »

V. ANALYSE DE LA DEMOGRAPHIE DU PUFFIN D'AUDUBON ET DE LA DYNAMIQUE DE LA COLONIE DE L'ILET HARDY

V.1 Eléments de synthèse sur la phénologie et le succès de la reproduction

Dans cette première partie, les données brutes des suivis des nids disponibles de 2000 à 2007 seront analysées. Les autres informations sur la phénologie de reproduction proviennent des résultats des études précédentes, celle de De Mercey et Jérémie en 1999 ainsi que ceux des suivis ornithologiques de 2001 à 2008 (AOMA et Carouge). D'un point de vue global, de 1997 à 2007, la population du puffin d'Audubon de la RNNISA a un cycle de reproduction s'étalant de novembre à juillet, soit une période de 9 mois (figure 11, détail en annexe 6).

	Nov	Dec	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil
arrivée									
Installation définitive									
ponte									
éclosion									
élevage des poussins									
départ									

Figure 11. Phénologie schématique de la reproduction du puffin d'Audubon de la RNNISA (bilan des données 1997 à 2007).

La population de puffins d'Audubon arrive en novembre-décembre. De nombreux individus fréquentaient la colonie par exemple dans les premiers jours de janvier 2012. Les individus s'installent définitivement en janvier et commencent à pondre au mois de janvier et en février. La période du mois de mars à la première quinzaine du mois d'avril correspond à l'éclosion des œufs. La période de départ fluctue davantage suivant les années donnant une période de départ globale de mai à fin juillet. En 2003 et 2006, les puffins d'Audubon sont partis plus tard (fin juillet). Aucune donnée ne permet de dire s'ils sont arrivés plus tardivement ces années-là.

V.1.1 Ponte et incubation

La période d'incubation de l'œuf a été estimée en 1998, 2001 et 2002, mais le détail de ces estimations n'est pas connu (à ce jour, il n'a pas été possible de retrouver les données brutes)⁶. En 1998 et 2001, les estimations de la période d'incubation sont proches : entre 51 et 56 jours en 1998 (De Mercey et Jérémie, 1999) et 54 jours en 2001 (AOMA, 2001). En 2002 par contre, la période d'incubation a été évaluée à 38 jours (AOMA, 2001) soit 16 jours d'écart avec l'ancienne estimation⁷. 54 jours sera la durée retenue pour la période d'incubation et donc l'estimation de la période de ponte. Les périodes de développement d'un œuf, d'un poussin et d'un juvénile avant l'envol sont difficiles à estimer avec des intervalles de suivis

⁶ V Bretagnolle a eu un long entretien téléphonique avec Claude Moyon en Mai 2012. De cet entretien, il ressort que C Moyon ne possède plus les données collectées avec P. De Mercy : celles-ci seraient en Martinique, restituées au Parc, et peut être stockées dans les archives.

⁷ Cette dernière estimation est forcément erronée, ne correspondant pas aux données de la littérature

parfois très grands. De manière très approximative, les périodes de développement de l'œuf et du poussin avant son envol sont estimés à 50 jours environ et celle du juvénile est estimée à 40 jours (cf. doc.5 annexe).

V.1.2 Elevage des poussins

En 1998, les premiers jours après l'éclosion de l'œuf, un des parents reste pour couvrir le poussin et le réchauffer (80% des cas, n=8) et ce au moins jusqu'au septième jour (n=2) (De Mercey, 1999). Le taux de nourrissage est de 92% par nuit (n=41 poussin*nuit) effectué pendant trois nuits du mois de mai de la même semaine (en 1998). Les poussins pendant la nuit avaient un gain de poids moyen de 24g entre le soir et le matin (écart-type : 13.9 ; bornes : -3 à 48g). A ce moment, les poussins avaient en moyenne 38 jours (écart-type : 11.4 ; bornes : 21-55 jours) (de Mercey, 1999). La mesure de cinq poussins deux fois par semaine depuis l'éclosion jusqu'à l'âge d'envol permet d'évaluer la croissance du poids et de l'aile du poussin au fil des jours⁸. Ils peuvent être pris comme des modèles permettant d'évaluer l'âge du poussin en fonction de son poids ou de la longueur de son aile.

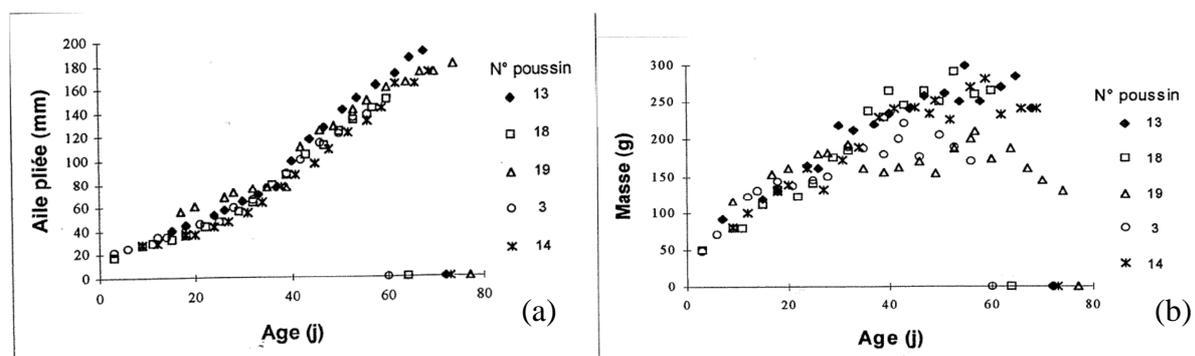


Figure 12. Modèles de détermination de l'âge du poussin : (a) : croissance de l'aile pliée en fonction de l'âge ; (b) : croissance du poids en fonction de l'âge (de Mercey, 1999).

V.1.3 Succès de reproduction

Les données de suivi pour les années 2003, 2006 et 2007 ne sont pas exploitables pour le calcul du succès de reproduction. De 1998 à 2005 (sauf 2003) à l'exception de l'année 1999 marquée par un échec total de la reproduction, le succès de reproduction global est en moyenne de 64.32% \pm 8.98 (figure 13). Plus de la moitié des œufs pondus atteignent le stade de juvénile et l'envol. Les pertes d'individus étaient en moyenne plus conséquentes durant la phase d'élevage des poussins avec 25% \pm 8.6 de perte de poussins, que pendant la phase d'incubation avec 13.5% \pm 12.8 de perte d'œufs. Le taux de survie des œufs est en moyenne de 86.09% \pm 13.41 et celui des poussins de 74.95% \pm 8.76 (Tableau 3).

⁸ A noter que l'un des poussins est mort (de faim semble-t-il). Par ailleurs, la courbe de croissance présentée ici est incomplète, car les poussins de puffins perdent encore plus de poids avant leur envol.

Tableau 3. Estimateurs de succès de la reproduction de 1998 à 2006 (excepté 2003) du puffin d'Audubon de la RNNISA. Succès reproducteur : nb juvéniles à l'envol/nb œufs ; survie des œufs : nb poussins/nb œufs ; survie des poussins : nb juvéniles à l'envol/nb poussins (N2) ; D.N.E : données non existantes

saison de reproduction	nb de nids suivis	succès de reproduction (%)	survie des œufs (%)	N. oeufs éclos	survie des poussins (%)
1998	17	58.82	67.75	12	83.00
1999	18	0	D.N.E	0	0
2000	23	52.17	69.57	16	75.00
2001	20	75.00	95.00	19	78.95
2002	23	56.52	100	23	56.52
2003	D.N.E	D.N.E	D.N.E	D.N.E	D.N.E
2004	19	68.42	84.21	16	81.25
2005	12	75.00	100	12	75.00
2006	D.N.E	D.N.E	D.N.E	14	78.57
2007	D.N.E	D.N.E	D.N.E	D.N.E	D.N.E

En 1999, on constate une disparition précoce des adultes sur les 18 nids suivis, et aucun œuf n'est parvenu à éclosion. Le succès reproducteur en 1999 est nul. Dans une salle exclue du suivi (hors protocole), deux poussins étaient présents le 11 mai 1999 (de Mercey & Jérémie, 1999). Des traces de la présence de rats (fèces, traces de pattes et terriers) et 10 cadavres de puffins d'Audubon ont été observés dans les salles suivies. Deux d'entre eux étaient des adultes bagués (le 30/11/98 : bague FS 28588 posée le 2/05/98 et contrôlée le 03/05/98 ; le 14/01/99 : bague FX 6519 posée le 2/05/98) et les 8 autres cadavres non bagués ont été vus entre le 21/12/98 et le 28/01/99 (AOMA, 2001). Leurs membres étaient détachés du squelette axial et l'os restant avait des traces de morsures, signes de prédation du rat. Celui-ci a réussi en creusant dans le substrat meuble à accéder aux nids des puffins d'Audubon.

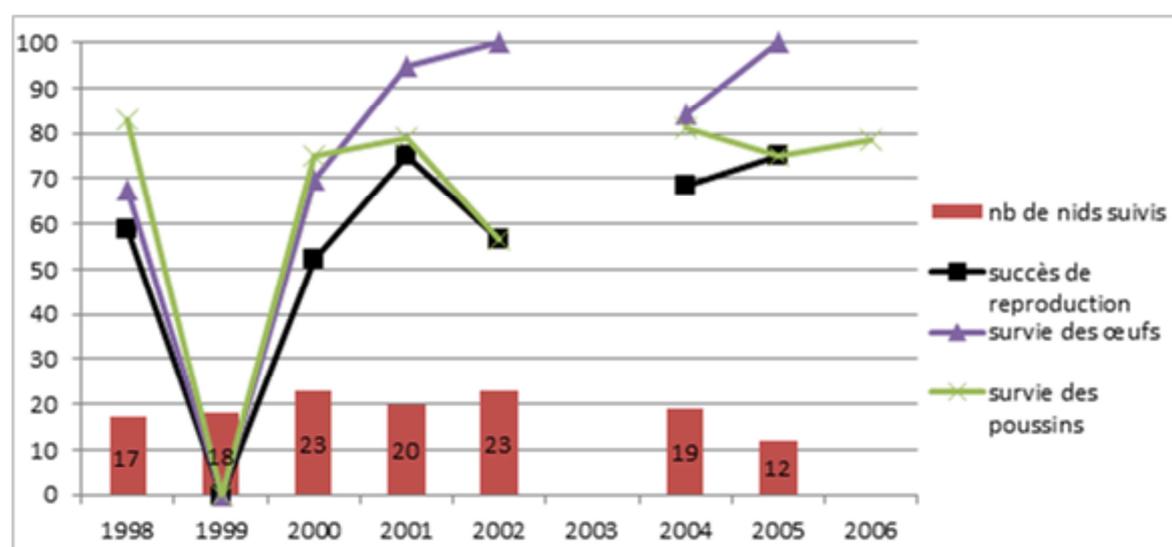


Figure 13. Evolution du succès reproducteur du puffin d'Audubon de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne de 1998 à 2005 (sauf 2003).

V.2 Démographie et dynamique des populations du Puffin

V.2.1 L'effort de capture

Le nombre de captures moyen de puffins d'Audubon de 1995 à 2012 par session de capture est de 78.33 ± 32 (Figure 14). On distingue 3 périodes : de 1995 à 2000 (excepté 1999), le nombre de captures moyen de 57 individus (± 31) ; de 2001 à 2004, on compte plus de captures avec en moyenne 120 puffins capturés par session (± 9) ; de 2005 à 2012, une stabilisation autour de 81 ± 15 sauf une baisse en 2009 avec 53 captures.

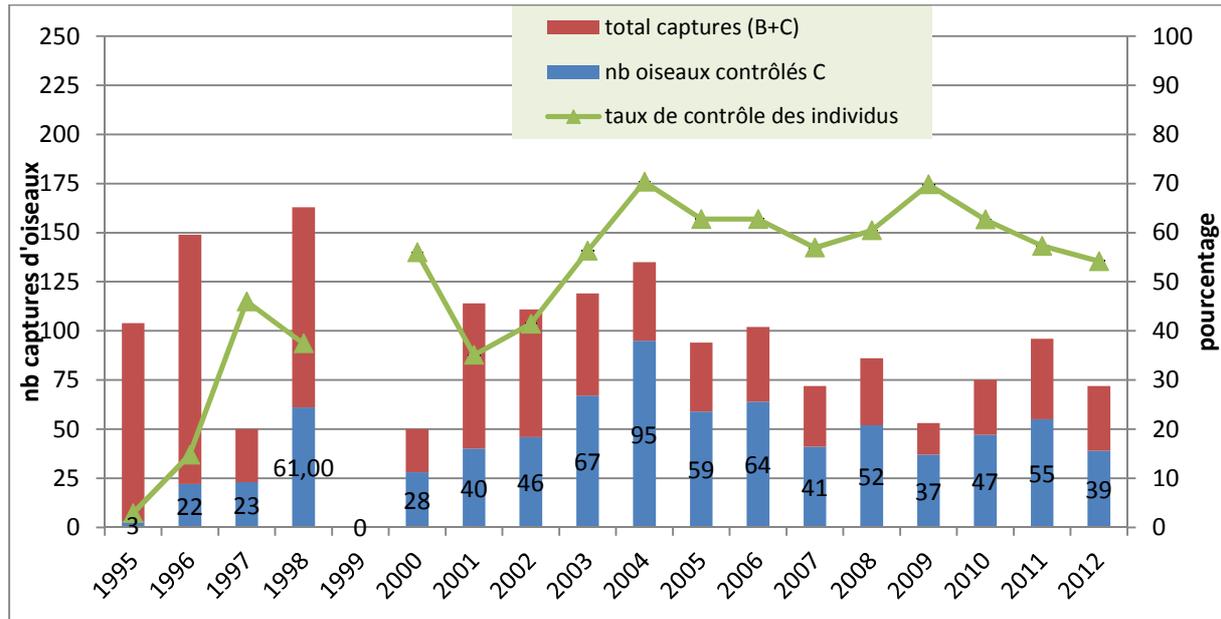


Figure 14. Taux de contrôle par jour de baguage au filet des puffins d'Audubon de l'île Hardy de 1995 à 2012 (B=baguage ; C=contrôle). A toutes les années, 1 session de baguage (1 jour) sauf en 1995 et 1996 (2 sessions), et 1998 (3 jours).

Le taux de contrôle, quant à lui de 1996 à 2012 est en moyenne de $49.5 \pm 16\%$ (Figure 14). Après une phase d'augmentation régulière jusqu'en 2000, il s'est globalement stabilisé depuis à environ 60%, ce qui est somme toute élevé et traduit qu'une part très significative de la population totale est baguée. L'année 1999 est marquée par le départ précoce de la colonie en raison de la prédation des rats. Durant les années 2001 et 2002, on constate un plus faible taux de recapture (35 et 41% respectivement). Puis en 2004 et 2009, on observe 2 pics avec 70% de contrôlés mais les variations restent faibles de 2003 à 2012 avec $61 \pm 5\%$ de taux de contrôle.

Au total, sur 17 années, on compte 1645 captures pour 866 individus. Malgré un taux de contrôle important (60% en moyenne), 56% des oiseaux bagués ne sont jamais recapturés. Ceci suggère qu'une partie non négligeable de la population fréquentant la colonie est constituée d'individus en transit. Il est donc intéressant de voir en détail de quelles cohortes proviennent ces individus jamais recapturés. Nous allons considérer deux types d'individus, les oiseaux bagués poussins avec « données PUL » et les oiseaux d'âge inconnu avec les « données VOL ».

Par ailleurs, les fréquences de recaptures (individus recapturés 1 à 9 fois) sont similaires pour les individus bagués VOL et ceux bagués PUL (Figure 15). Parmi les oiseaux

recapturés, plus de la moitié n'est revu qu'une fois ce qui souligne soit une difficulté à les recapturer, soit une mortalité non négligeable, soit une reproduction sur un autre site.

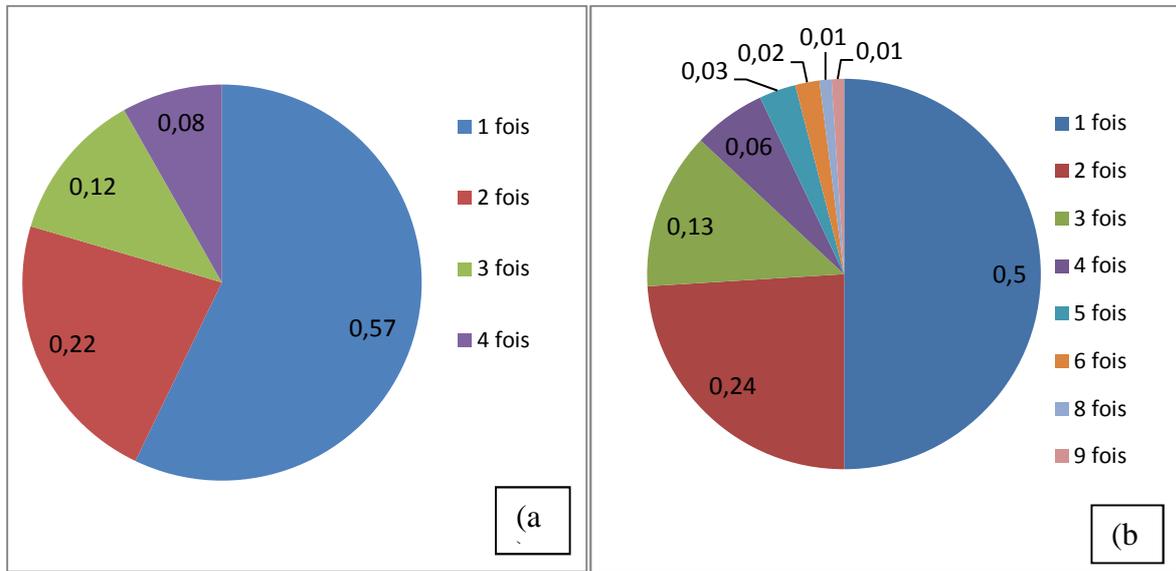


Figure 15. Détail des recaptures à partir données PUL (a), et des données VOL (b).

V.2.2 Analyse des individus bagués jamais recapturés par la suite

Oiseaux d'âge inconnu

Les « données VOL » regroupent les individus capturés au filet issus des principales sessions de baguage au filet. On dénombre 1565 captures pour 816 individus. 56% des puffins bagués VOL n'ont jamais été recapturés par la suite.

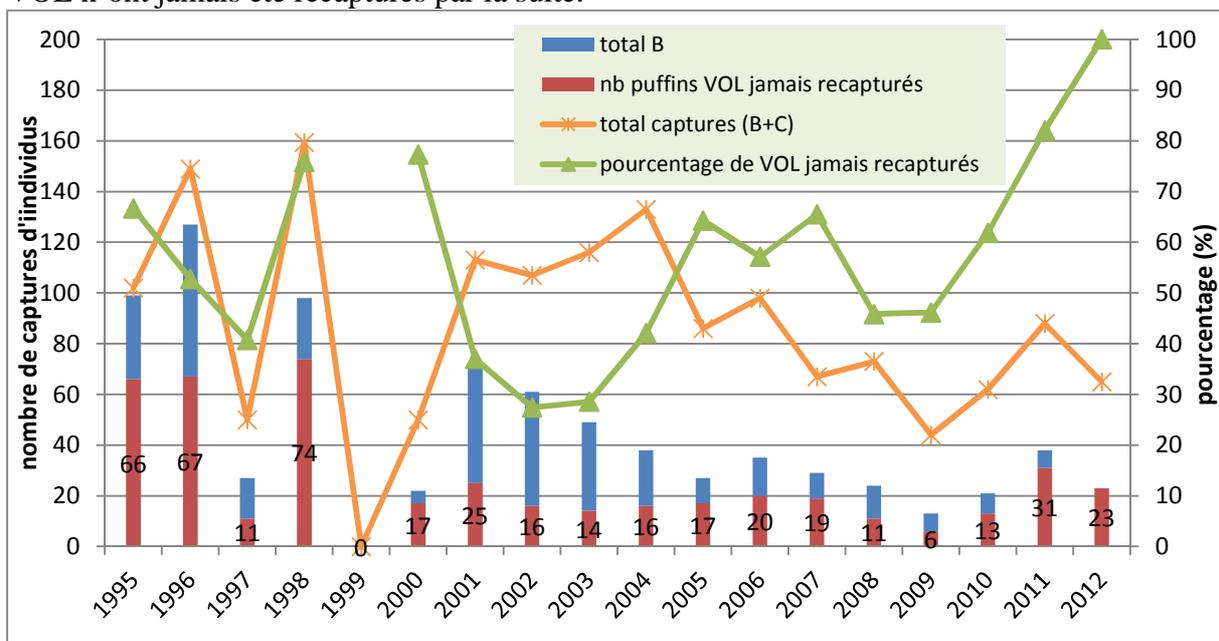


Figure 16. Evolution du taux de puffins d'Audubon nouveaux bagués « VOL » de l'îlet Hardy et jamais recapturés par la suite, par année de 1995 à 2012.

Indication calculs : pourcentage de VOL jamais recapturés : nb VOL jamais recap/ nb total de bagués

De 1995 à 2011, le taux d'individus VOL jamais recapturés par la suite est de $54.45 \pm 17\%$ (figure 16). Les autres années, le taux d'individus jamais recapturés est plutôt constant. Le nombre de transients de 1998 à 2007 (excepté 1999) est relativement constant (19 ± 4 individus) et ce malgré la variation du nombre de captures par session (50 à 135 captures). De 2001 à 2004, malgré le nombre important de nouveaux bagués, les taux de VOL jamais recapturés sont les plus faibles (27.42 à 42.11%). De 2005 à 2007, les taux varient de 57.14 à 65.52% pour un nombre de captures moins important que la période précédente. Puis en 2008 et 2009, le taux diminue à près de 45%.

Oiseaux d'âge connu (bagués poussins)

Le baguage au nid a été effectué pendant 9 années, de 1995 à 2007 (excepté 1999). La période de baguage concorde avec la forte présence de poussins constatée lors des suivis des nids dans les salles du protocole. 359 poussins ont été bagués et on dénombre 454 captures rassemblant les captures des poussins au nid et les recaptures de ces mêmes oiseaux par la suite au filet. 86% des poussins bagués n'ont jamais été recapturés par la suite.

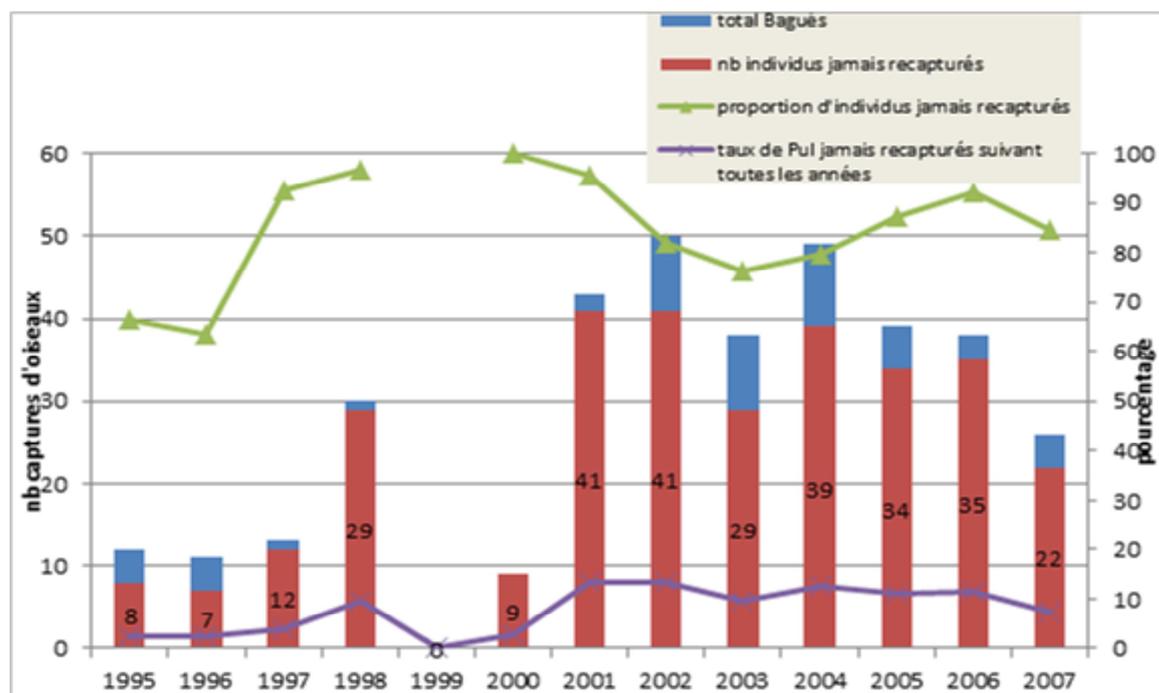


Figure 17. Evolution du taux de puffins d'Audubon bagués PUL de l'îlet Hardy jamais recapturés par la suite, par session de capture de 1995 à 2012.

Indication calculs : pourcentage de PUL jamais recapturés : nb PUL jamais recap/ nb total de bagués

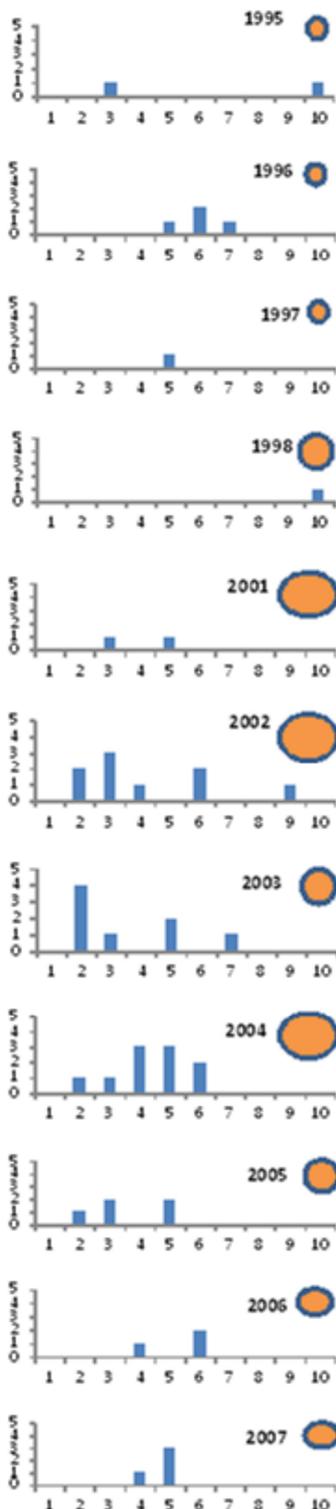
Pourcentage de PUL jamais recapturés suivant les années : nb PUL jamais recap/ nb total de VOL jamais recap

En moyenne, $84.7 \pm 11.1\%$ des puffins bagués poussins par session ne sont jamais recapturés par la suite. Le début des captures des poussins de 1995 à 1997, est marqué par un faible effort de capture avec en moyenne 13 ± 1 captures. Les années qui suivent de 1998 à 2007 40 poussins (± 13) sont bagués chaque année. L'année 2000 compte seulement 9 poussins bagués et d'ailleurs aucun individu de cette cohorte n'a été recapturé pour le moment.

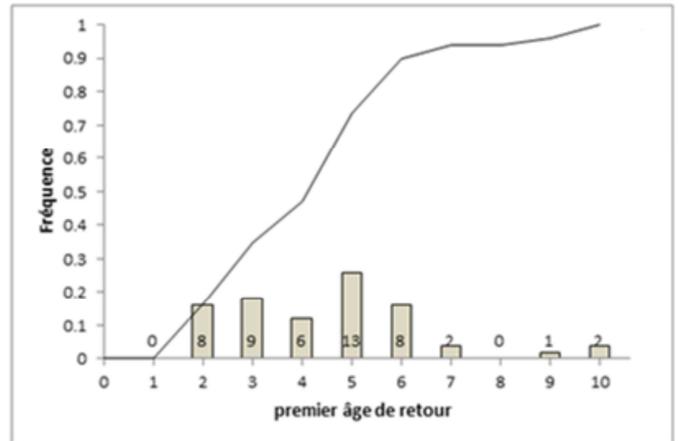
V.2.3 Age de premier retour et estimation de l'âge de première reproduction

Après l'envol, les pétrels connaissent 3 stades : juvénile, immature et mature. Durant la phase juvénile, ils restent en mer et suivant les espèces cela peut varier de 1 à plusieurs années. Les individus à stade immature peuvent être observés à terre, commençant la prospection des nids et la recherche de leurs partenaires. A partir de l'âge de maturité, la plupart des pétrels se reproduisent à chaque année (Warham, 1990).

Figure 18. Effectif des premiers retours des puffins bagués poussins (1995-2012).



Effectif premier retour



Sur cette figure 18, sont décrits les différents premiers âges de retour des individus bagués poussins. On observe que pendant la première année aucun puffin n'est recapturé indiquant la durée minimale du stade juvénile. 16% des retours des puffins sont à l'âge de 2 ans. Près de 50% des poussins bagués sont retournés sur l'îlet Hardy au moins une fois, à l'âge de 4 ans.

On peut donc estimer l'âge de recrutement des individus entre 4 et 6 ans.

Les histogrammes de la Figure 19 nous indiquent en détail, l'âge de premier retour des individus bagués poussins, par cohorte.

On observe des premiers retours pour des individus de 2 à 10 ans. Ces observations sont fonctions de la probabilité de détection des puffins sur le site. La cohorte de 2001, bien qu'il y a i eu un nombre de poussins bagués important (43 individus) seules 2 recaptures ont eu lieu à ce jour. De 2002 à 2004, on compte le plus grand nombre de recaptures. En 2002 et 2003, les premiers retours sont aux âges 2 et 3 ans. En 2004, à 4 et 5 ans.

Le puffin recapturé le plus âgé a 16 ans (bagué en 1995).

Figure 19. Détail des âges de retour des puffins bagués poussins de 1995 à 2007 sur l'îlet Hardy.

(La taille du rond orange est proportionnelle au nombre de poussins bagués par cohorte)

V.2.4 Analyse des taux de recapture de survie apparente chez les individus d'âge connu

Les deux jeux de données nous permettent de traiter deux axes différents : avec les « données PUL », analyser à partir des classes d'âges d'individus connus, les taux de survie apparent (phi) et la probabilité de détection (p); avec les « données VOL », analyser les variations inter annuelles du taux de survie apparent et de la probabilité de détection (section suivante, V.2.5.)

Test d'adéquation des données de capture

Pour tenir compte des modèles surdispersés, on utilise une déviance ajustée : la statistique $c\text{-hat}$ (c chapeau) est égale à la déviance du modèle sur le nombre de degrés de libertés. Dans le cas où le modèle s'ajusterait bien aux données, $c\text{-hat}$ serait égal à 1.

Ici, $c\text{-hat} = 1.14$ et un p non significatif ($p=0.26$), le jeu de données est bien adéquat au modèle général de CJS, le modèle $\phi(t)p(t)$ (tableau 4).

<p>$c\text{-hat} = \mathbf{1.14}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • Global TEST, number of groups =1 • $df = 35$ • Quadratic $Chi^2 = 39.9286$ • $\rightarrow P\text{-level} = 0.26031$ • $N(0,1)$ statistic for transient (>0) = 2.8684 • $\rightarrow P\text{-level}$, two-sided test = $\mathbf{0.004126}$ • $\rightarrow P\text{-level}$, one-sided test for transience = $\mathbf{0.002063}$ • $N(0,1)$ signed statistic for trap-dependence = -0.35738 • $\rightarrow P\text{-level}$, two-sided test = $\mathbf{0.72081}$
--

Tableau 4. Test du modèle CJS, $\phi(t)p(t)$ à partir des données PUL

Il n'y a pas de trap-dépendance dans ce jeu de données. Néanmoins le test de transience est significatif avec une $p\text{-value} = 0.004 (< 0.05)$. Deux principales causes sont possibles: les jeunes individus auraient une survie plus faible que celle des adultes, ce qui expliquerait le fait qu'il y ait une grande proportion qui ne serait capturés qu'une seule fois ;

Afin de prendre en compte l'effet transience dans le modèle, on crée un modèle à 2 classes d'âge $\phi(a_2*t)p(t)$.

Estimation du modèle de capture de puffins d'Audubon

On s'intéresse ici au modèle qui décrirait le mieux les variations de la probabilité de détection (p), évaluées de 1996 à 2012. Seront donc testés :

-si l'effet âge et temps sont significatifs sur p c'est-à-dire si p est significativement différent selon les 2 classes d'âges (1 an et plus) et selon le temps ($=\phi(a_2*t)p(a_2*t)$)

-si p varie à chaque année sans effet classe d'âge ($=\phi(a_2*t)p(t)$)

-est ce qu'il y a une tendance linéaire, indiquant diminution, augmentation de p ? ($=\phi(a_2*t)p(\text{linéaire})$)

-est ce que l'on a une tendance quadratique (forme cloche) de p ? ($=\phi(a_2*t)p(\text{quadratique})$)

-est ce que p est plutôt constant au fil des années ? ($=\phi(a_2*t)p(.)$)

-est ce que l'on peut relier les variations temporelles de p à l'effort d'observation ? ($=\phi(a_2*t)p(\text{effort de capture})$)

Le meilleur modèle est celui avec le meilleur AICc, c'est-à-dire le modèle qui décrit le mieux les variations de p tout en présentant la déviance minimale (variance non expliquée par modèle) et le moins de paramètres à estimer. La comparaison des 9 modèles nous indique que le meilleur modèle de capture est celui qui décrit une tendance linéaire au cours du temps (tableau 5). La probabilité de capture à l'âge 1 est fixée à 0 (car aucun individu n'est capturé à 1 an) et fixée à 0 en 1999 (car départ prématuré des puffins à cette année-là). Le modèle $\{\text{phi}(a2*t)p1(0)p2+(\text{linéaire})p(99=0)\}$ a un AICc de 708,80.

Le test LRT, qui teste la différence entre les 2 premiers modèles, est significatif avec de très faibles valeurs de probabilité ($X^2=23.933$ df=1, $p<.0001$). Cela indique que les paramètres que l'on a enlevé entre les deux modèles contribuent à expliquer une proportion significative de la variance des données et qu'il faut en définitive garder ces paramètres (annexe 7).

Model	AICc	Delta AICc	Num. Par	Deviance
$\{\text{phi}(a2*t)p1(0)p2+(\text{linéaire})p(99=0)\}$	708.80	41.89	36	224.29
$\{\text{phi}(a2*t)p(\text{linéaire})p(99=0)\}$	730.35	63.44	35	248.23
$\{\text{phi}(a2*t)p(\text{quadratique})p(99=0)\}$	732.72	65.81	36	248.22
$\{\text{phi}(a2*t)p(\text{conformité})p(99=0)\}$	740.63	73.73	35	258.51
$\{\text{phi}(a2*t)p(.)p(99=0)\}$	744.79	77.88	34	265.04
$\{\text{phi}(a2*t)p(\text{effort})p(99=0)\}$	745.22	78.31	35	263.10
$\{\text{phi}(a2*t)p(\text{effortnbjour})p(99=0)\}$	746.68	79.77	35	264.56
$\{\text{phi}(a2*t)p(t)p(99=0)\}$	750.03	83.12	49	233.41
$\{\text{phi}(a2*t)p(a2*t)\}$	774.07	107.17	66	211.98

Tableau 5. Les modèles de taux de capture.

Estimation du modèle de survie de la population de puffins d'Audubon

En gardant le meilleur modèle de capture $\{\text{phi}(a2*t)p1(0)p2+(\text{linéaire})p(99=0)\}$, on va maintenant estimer le meilleur modèle de survie. Le test d'ajustement des données nous indique que l'on a un effet transience. Pour prendre en compte ce effet, on crée un modèle de base à 2 classes d'âge $\text{phi}(a2*t)$. Deux types de traitement ont été faits. Dans un premier temps, on évalue quelles composantes dans le modèle $\text{phi}(a2*t)$ prévalent (soit toutes à la fois soit une par une):

-le modèle $\text{phi}(a2*t)= 2$ classes d'âge+temps+2classes d'âge*temps, en comparaison avec les autres modèles décrits ci-après, permettra de tester si l'interaction entre les 2 classes d'âge et le temps est significative.

- $\text{phi}(a2+t)= 2$ classes d'âge+ temps est un modèle qui permet de savoir si les survies de ces 2 classes d'âge varient en fonction du temps de la même manière.

- $\text{phi}(a2(.))= \text{phi}1(.)\text{phi}2(.)$; dans ce cas les survies des 2 classes d'âges sont plutôt constantes au cours du temps.

Dans un deuxième temps, ont été comparées plusieurs combinaisons de classe d'âge pour améliorer le modèle de survie.

Le meilleur modèle retenu est **{phi1-2(.)phi3+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}**. Les 2 premières classes d'âge ont été regroupées pour permettre au modèle de calculer correctement la survie à l'âge 1. Le modèle de survie est le modèle à 2 classes d'âge 1 à 2ans et plus de 3ans. Les 5 premiers modèles de la table ne sont pas significativement différents les uns des autres car la différence d'AICc est inférieure à 2 (tableau 6).

Model	AICc	Delta AICc	AICc W.	Model L.	Num. Par	Dev
{phi1-2(.)phi3+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	666.91	0.00	0.18	1.00	5	251.04
{phi1(.)phi2+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	666.91	0.00	0.18	1.00	5	251.04
{phi1-2(.)phi3(.)phi4+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.11	1.20	0.10	0.55	6	250.19
{phi1-3(.)phi4+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.72	1.81	0.07	0.40	5	252.85
{phi1(.)phi2-6(.)phi7+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.89	1.99	0.06	0.37	6	250.97
{phi1(.)phi2-5(.)phi6+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.95	2.04	0.06	0.36	6	251.03
{phi1(.)phi2-4(.)phi5+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.96	2.05	0.06	0.36	6	251.04
{phi1(.)phi2-3(.)phi4+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.96	2.06	0.06	0.36	6	251.04
{phi1(.)phi2(.)phi3+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.96	2.06	0.06	0.36	6	251.04
{phi1-2(.)phi3-6(.)phi7+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	670.12	3.21	0.04	0.20	7	250.13
{phi1(.)phi2+(linéaire)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	670.89	3.98	0.02	0.14	7	250.90
{phi1(.)phi2(.)phi3(.)phi4(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	671.03	4.12	0.02	0.13	7	251.04
{phi1(.)phi2(.)phi3(.)phi4+(.)p1(0)p2(.)p3(.)p4+(.)p99(0)}	672.02	5.11	0.01	0.08	9	247.86
{phi1(.)phi2(.)phi3+(.)p1(0)p2(.)p3+(.)p(99=0)}	674.74	7.83	0.00	0.02	7	254.75
{phi1-2(.)phi3+(.)p1(0)p2+(.)}	677.97	11.07	0.00	0.00	4	264.15
{phi1(.)phi2+(.)p(linéaire)p(99=0)}	687.24	20.34	0.00	0.00	4	273.42
{phi1(.)phi2+(t)p1(.)p2+(linéaire)p(99=0)}	688.18	21.28	0.00	0.00	20	240.40
{phi1(.)phi2+(linéaire)p(linéaire)p(99=0)}	688.79	21.89	0.00	0.00	5	272.93
{phi(a2*t)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}contraint}	708.80	41.89	0.00	0.00	36	224.29
{phi(a2+t)p(t)p(99=0)}contraint}	715.72	48.82	0.00	0.00	34	235.97

Tableau 6. Les différents modèles de survie testés successivement.

Le taux de recapture augmente avec les années passant de 0.05 en 1997 à 0.35 en 2012 (figure 19). Cette augmentation est significative (annexe 8). Le taux de survie pour les individus d'âge 1 et 2 ans est de 0.7 et pour ceux âgés de plus de 3 ans de 0.85 (figure 20).

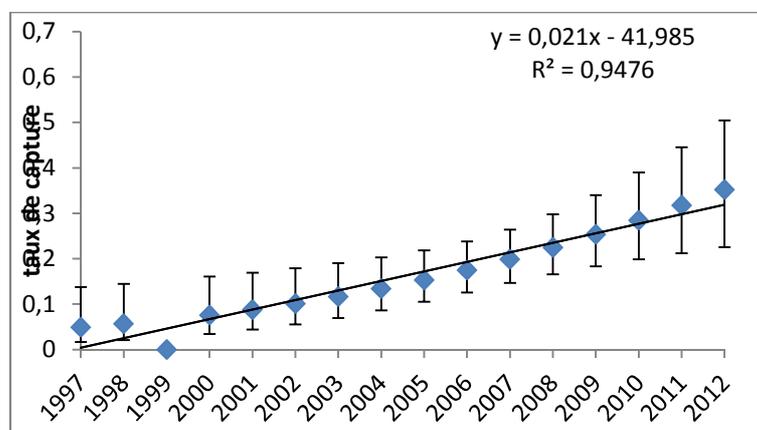


Figure 20. Evolution du taux de recapture estimé des puffins d’Audubon de 1997 à 2012 de l’îlet Hardy.

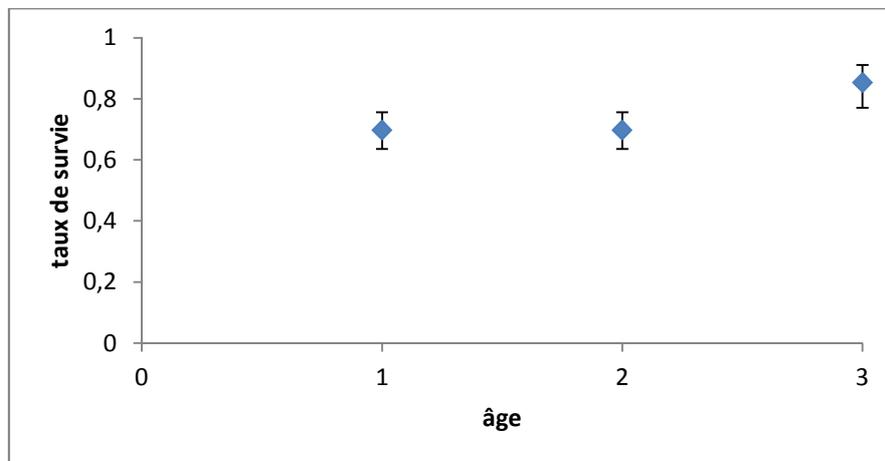


Figure 21. Taux de survie des puffins d’Audubon de 1996 à 2012 de l’îlet Hardy.

Les âges 1 et 2 ans sont en fait estimés simultanément (et ont des valeurs identiques). L’âge 3 correspond aux individus de 3 ans et plus.

En conclusion, sur la base de l’analyse du fichier des individus d’âge connu (c’est-à-dire les 359 poussins bagués au cours des années, dont 49 ont été recapturés au moins une fois sur Hardy), nous sommes en mesure d’estimer le taux de survie des juvéniles (entre leur départ et deux ans d’âge) à 0.7 ; ce taux de survie passe ensuite à 0.85 à partir de 3 ans.

V.2.5 Variations inter annuelles du taux de survie apparent et de la probabilité de détection chez les individus d’âge inconnu

Les étapes sont exactement les mêmes que dans l’analyse précédente

Test d’adéquation des données de capture

Ici, le \hat{c} est proche de 1 (0.979). Le test général de transience n’est pas significatif avec une p-value de 0.06. Le test plus spécifique de transience révèle néanmoins un petit effet transience avec p value de 0.03 (tableau 7). Les analyses sous Mark nous montreront que cet effet est négligeable. Il n’y a pas de trap-dépendance dans le jeu de données.

<p>\hat{c} = 0.979</p> <ul style="list-style-type: none"> • Global TEST, number of groups =1 • df =88 • Quadratic Chi2 =86.1238 • ->P-level=0.53668 • N(0,1) statistic for transient(>0) =1.8795 • ->P-level, two-sided test =0.060174 • ->P-level, one-sided test for transience =0.030087 • N(0,1) signed statistic for trap-dependence =-0.99439 • ->P-level, two-sided test =0.32003

Tableau 7. Test du modèle CJS, $\phi(t)$ $p(t)$ à partir des données VOL

Sélection du meilleur modèle CJS (Cormack-Jolly-Seber) de survie et de probabilité de détection. Le même raisonnement que précédemment a été suivi : test de l'effet de l'âge, de la pression de capture sur la survie et la recapture. Comme le jeu de données est ici beaucoup plus conséquent, ont pu être testés la corrélation du taux de survie avec des indicateurs de variations climatiques (NAO, el Nino, anomalies SST). Le meilleur modèle de capture et de survie est le modèle où le taux de survie est corrélé avec les anomalies SST de la zone Caraïbe et le taux de détection évolue au cours du temps **{ $\phi(\text{sstaCARAIBEannuel effet linéaire})p(t)p(99=0)$ }** (tableau 8 et annexe 8).

Model	AICc	Delta AICc	AICc Weights	Model L.	Num. Par	Deviance
{ $\phi(\text{sstaCARAIBEannuel effet linéaire})p(t)p(99=0)$ }	3894.70	0.00	0.24	1.00	19	1039.73
{ $\phi(\text{sstaCARAIBEannuel})p(t)p(99=0)$ }	3894.74	0.04	0.24	0.98	19	1039.77
{ $\phi(\text{sstaCARAIBEmoisbague})p(t)p(99=0)$ }	3895.46	0.76	0.16	0.68	19	1040.50
{ $\phi(\text{sstaCARAIBEannuel+nao annuel})p(t)p(99=0)$ }	3896.41	1.70	0.10	0.43	20	1039.38
{ $\phi(t)p(t)p(99=0)$ }	3896.49	1.79	0.10	0.41	33	1012.49
{ $\phi(t)p(\text{conformitébague})p(99=0)$ }	3896.61	1.91	0.09	0.39	19	1041.64

Tableau 8. Modèles de survie successivement testés sur les individus d'âge inconnu

Le taux de survie adulte est en moyenne de 0.77 (± 0.12) de 1995 à 2011 (figure 22). Le facteur externe d'anomalie de température de surface de l'océan (SST) dans la Caraïbe est corrélé positivement avec le taux de survie et est significatif (annexe 9). Lorsque la température augmente, le taux de survie également (figure 22). La comparaison visuelle des figures 22 et 23 indique clairement qu'en cas d'anomalie de température négative, le taux de survie adulte est nettement plus faible.

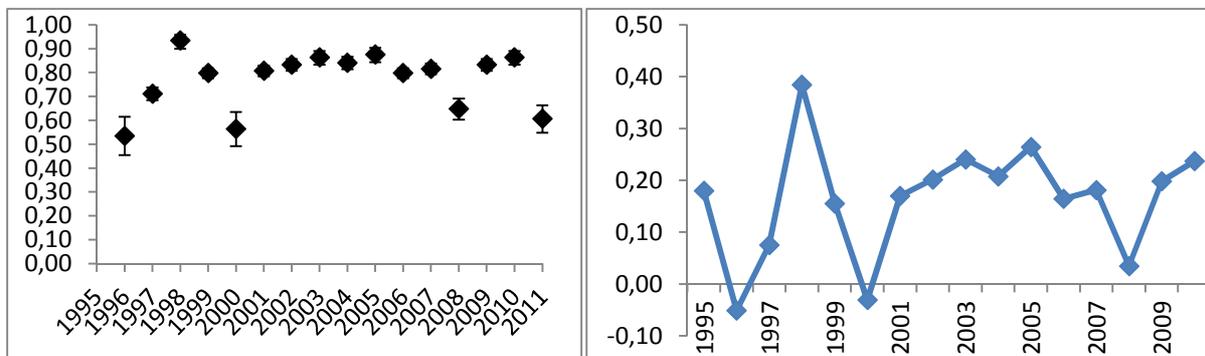


Figure 22. Evolution inter-annuelle du taux de survie des puffins d'Audubon de 1995 à 2011 de l'îlet Hardy.

Figure 23. Evolution des anomalies SST dans la Caraïbe (données NOAA).

Le taux de capture est de 0.31 (± 0.12) en moyenne sur la même période (figure 24).

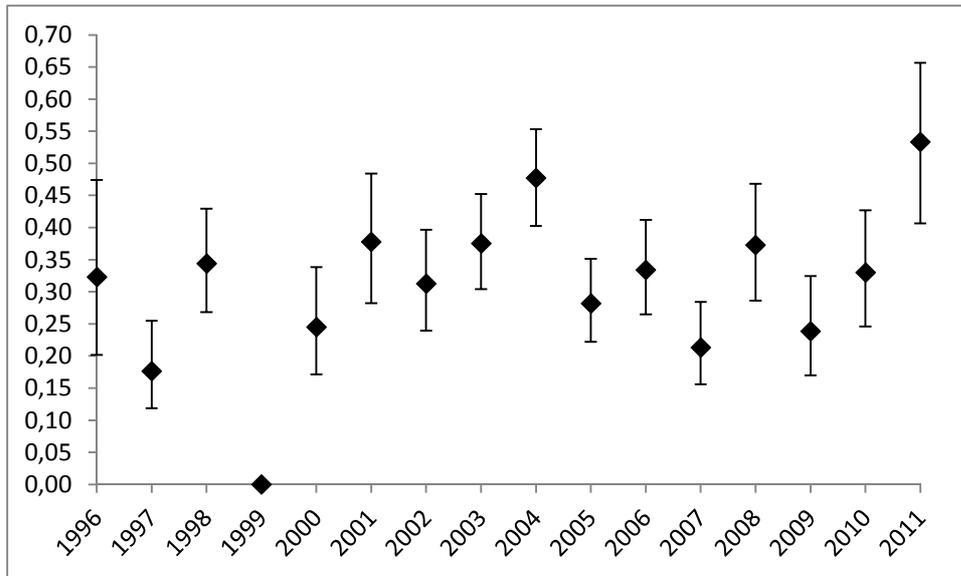


Figure 24. Evolution du taux de capture des puffins d'Audubon de 1996 à 2011 de l'île Hardy.

V.2.6 Discussion des résultats : comparaison avec d'autres colonies étudiées

Le Puffin d'Audubon a déjà fait l'objet de diverses études dans la Caraïbe et dans d'autres régions du monde. Ces études sont portées sur des axes variés de la biologie de l'espèce (une partie décrite ici et l'autre directement comparée aux résultats de notre étude). Différents travaux dans la Caraïbe ont permis d'estimer l'effectif, la répartition et le statut de l'espèce (Pinchon, 1963 ; Lesvègue, 2005 ; Leblond, 2003 ; Raffaele et al, 1998 ; Brooke, 2004 ; Halewyn et Norton, 1994 ; Lee, 2000 ; Schreiber et Lee, 2000, Bull, 2006). La description de la distribution, de l'abondance, des caractéristiques du site de nidification, et du cycle de reproduction de la sous-espèce *P. l. bailloni* à la Réunion a été faite (Bretagnolle *et al.* en 2000). Une étude récente a permis une grande avancée sur les connaissances de l'écologie de la sous espèce *P.l. lherminieri* (Trimm, 2001 et 2004) dans le plus important site de nidification de la Caraïbe (San Salvador, Bahamas). Selon Trimm (2004), 55% des nids sont réutilisés l'année suivante et on a 44% de fidélité au site de ponte. 75% des mâles et 25% des femelles sont vus dans le même nid l'année suivante.

La période de reproduction concorde avec les autres régions de la Caraïbe où le puffin d'Audubon commence à pondre sur le site de reproduction en janvier-février (Murphy, 1936). Par contre, aux Bahamas, la ponte des œufs commence en général en mars (Lee and Clark, 1994). Aux Bahamas, les oiseaux se reproduisent chaque année, cela doit être une adaptation à la forte présence de cyclones dans cette zone (Lee, 1996). Aux Galápagos, le cycle de reproduction dure environ 9 mois, comme aux Seychelles. La période d'incubation (54 jours) est également classique (49 - 51 jours selon Bull, 2006).

Le succès reproducteur des puffins sur Hardy est variable (même en l'absence de rats). Les oiseaux marins ont souvent un succès reproducteur très variable. L'hypothèse avancée pour expliquer ces variations est que les ressources marines sont très fluctuantes et imprévisibles (Ashmole, 1971). Cette forte variabilité environnementale favoriserait l'émergence d'une stratégie à effort flexible d'investissement dans la reproduction (Erikstad *et al.*, 1997). L'espèce peut abandonner le site de reproduction lorsqu'il est dans les pires conditions d'élevage, selon le modèle d'Erikstad *et al.* (1998).

Avec un effort de capture similaire (1 nuit de baguage par année et le maximum d'entrées obstruées, même période de l'année) à chaque année, on observe un nombre plutôt stable de transients. Pendant la période d'élevage des poussins, le nombre de transients est de 19 par année (± 8). Pour un nombre moyen de captures de 84 individus par session de baguage, cela représente 23% de l'ensemble.

Enfin, en comparaison avec la survie adulte d'autres espèces de petits puffins, on remarque que comparé à la population de Bahamas de Puffin d'audubon les taux de survie sont similaires avec comme valeur 0.8. La colonie de *Puffinus Yelkouan* en Méditerranée dont l'habitat est protégé également et avec le même contexte de gestion de la prédation des rats a un taux de survie similaire entre 0.74 et 0.85. Enfin *P.huttoni* et *P. griseus* ont des survies attendues pour une espèce longévive de 0.9 environ, mais ces deux espèces sont sensiblement plus grandes.

	<i>P. hutonn</i> (Nouvelle-Zélande)	<i>P. yelkouan</i> (Méditerranée)		<i>P. griseus</i> (Nouvelle-Zélande)	<i>P. lherminieri</i> (Bahamas)
période	1990-1998	1969-1994	2004-2010	1995-2005	2000-2002
Age de maturité	4-6			5-9	5
Survie adulte	0.93 (0.88-0.95.8)	0.74 (0.69-0.8)	0.85 (0.58-1.0)	0.952 (0.896-0.979)	0.80 \pm 1.7%

Figure 25. Taux de survie adultes et âge de maturité chez différentes espèces de puffins.

VI. CONCLUSIONS, ANALYSES ET RECOMMANDATIONS POUR LE PUFFIN

VI.1 Bilan de l'étude démographique

Il est tout d'abord indispensable de rappeler que la base de données de baguage disponible sur cette population de Puffins est unique au monde, de par le nombre d'individus bagués, le fait qu'un nombre substantiel de poussins aient été bagués, la durée de suivi, et l'ampleur de l'effort de recapture (dans des conditions inhabituelles pour un puffin, puisque les oiseaux ne sont pas recapturés sur leur nid). Sur les 4 dernières années, 55-75% des individus capturés sur la colonie sont bagués.

De cette étude, nous pouvons produire des paramètres démographiques originaux :

- L'âge de premier retour des poussins s'étale de 2 à 10 ans (médiane=4 ans)
- Le taux de survie des juvéniles de 1 et ans et de 0.70
- Le taux de survie adulte est de 0.75 ou 0.80 selon les analyses (individus d'âge connu ou d'âge inconnu)
- Le taux de survie adulte est assez fortement corrélé aux anomalies de températures dans les Caraïbes ; il augmente avec les anomalies chaudes
- Enfin, une petite partie des individus fréquentant les galeries en Mai et capturés seraient des individus en transit, c'est-à-dire, probablement, en provenance d'autres colonies

Le bilan de cette étude est donc extrêmement positif (et fera l'objet prochainement, comme prévu, d'une publication scientifique dans le cadre de la thèse de C. Precheur). Cette étude démographique nous permet également d'interpréter la dynamique à long terme de cette colonie, d'évaluer les menaces qui pèsent éventuellement sur elle, et de proposer au Parc un avenir pour le suivi de cette population ainsi que quelques préconisations de gestion. C'est l'objet des sections suivantes de ce chapitre.

VI.2 Analyse des menaces potentielles affectant la dynamique de la population de puffin

Plusieurs rapports annuels font état des menaces potentielles pesant sur cette population de puffins. Je les reprends et les commente ci-dessous (en considérant par ailleurs d'autres menaces potentielles qui n'ont pas encore été évoquées), avant d'analyser la dynamique de la colonie au cours des 50 dernières années et d'en tirer les conclusions qui à mon sens s'imposent en matière de gestion, puis de suivi. Comme cela sera détaillé ci-dessous, tout porte à croire (pour ne pas dire affirmer) que la taille de la population de cette colonie a fortement diminué. Les raisons de ce déclin peuvent être de quatre ordres *a priori* : un dérangement excessif lié aux études (notamment le baguage de jour sur des adultes couvant est fortement proscrit chez cette espèce, et ne peut pas ne pas avoir eu d'impact) ; un impact des rats, apparus dans les années 90 (peut être avant ?), qui en diminuant année après année le succès reproducteur, aurait affecté la taille de la population ; une compétition avec les autres espèces d'oiseaux venant nicher sur le site, ou la prédation par des rapaces ; une modification au niveau des paramètres océanographiques (affectant par exemple l'abondance de nourriture)

ou un effet de la pêche à travers des captures accidentelles. Je reprends donc en détails ces éléments ci-dessous.

VI.2.1 Effets des rats sur les Puffins d'Audubon

A l'occasion de ces suivis, et ceci dès 1997, la présence du Rat noir sur les îlets Hardy et Poirier a été établie. L'arrivée de ce Rongeur allochtone sur les îlets est fort probablement récente si l'on en croit les écrits du Père Pinchon qui ne le signale pas dans sa publication de 1976, et le témoignage des pêcheurs locaux qui fixent son arrivée sur l'îlet Poirier au tout début des années 1990. La présence des rats noirs est signalée depuis 1996 par des pêcheurs et bien que diagnostiquée par des non spécialistes, son abondance ne devait pas être négligeable. Or, la présence de cette espèce en milieu insulaire, tout particulièrement pendant sa phase d'installation, est connue pour générer de graves problèmes de survie aux populations d'oiseaux, les espèces les plus vulnérables étant celles à nidification hypogée tel le Puffin d'Audubon. L'impact de ces rongeurs est connu mondialement depuis longtemps pour être très néfaste à la reproduction des colonies d'oiseaux marins. Si en 1998, le succès reproducteur du puffin d'Audubon était relativement correct (58,8%), il était proche de 0 en 1999.

Des mesures d'éradication du rat ont commencé en novembre-décembre 1999 en raison de la forte présence de l'espèce sur la RNISA. Le protocole a été élaboré par P. MICHEL - INRA de Rennes (Pascal 1998). Cette opération fut bénéfique puisque dès l'année suivante le succès reproducteur des différentes espèces d'oiseaux marins nicheurs augmenta (Pascal *et al.* 2004). Depuis, une surveillance annuelle de la présence de rats est réalisée. L'effet de l'éradication (même si elle échoué, voir ci-après) de 1999 a été très net. La saison de reproduction 1999 fut un échec total (0%). La forte présence de rats a mené à une dératisation sur le site de la réserve entraînant la capture de 121 rats sur l'îlet Hardy en novembre-décembre 1999.

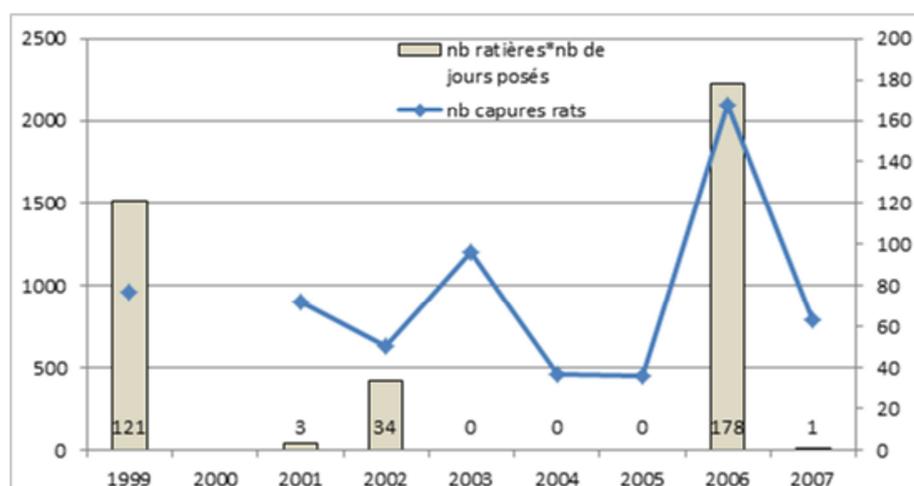


Figure 26. Evolution de l'effort de capture des rats et de l'effectif de rats capturés de 1999 à 2007.

En 2000, plus de la moitié (70%) des œufs atteignent le stade juvénile et le succès reproducteur du puffin d'Audubon continue d'augmenter en 2001 avec 75% de réussite. Le contrôle de l'éradication du rat permet de confirmer l'efficacité de la méthode de dératisation avec seulement 3 rats capturés. En 2001 et 2002, la présence de rats noirs est constatée tout de même après la procédure d'éradication de 1999 sur les îlets de la RNISA. Elle est expliquée

d'une part par l'échec de l'opération d'éradication et d'autre part, après analyse génétique, de la recolonisation par des sujets provenant de la côte proche (Abdelkrim et al, 2004). Ainsi en janvier-février 2002, de nouvelles traces de rats sont observées. Une campagne de dératisation permet de capturer 34 individus sur l'îlet Hardy. On peut observer également une diminution de 25% du succès reproducteur du puffin en 2002 par rapport à l'année antérieure. La ponte chez le puffin sur l'îlet Hardy se passe en janvier-février. La dératisation à cette période a permis de diminuer l'effet de prédation du rat sur la reproduction de l'espèce. De 2003 à 2005, les contrôles effectués indiquent une éradication totale de l'espèce. Le 31 août 2006 la présence de plus en plus abondante du rat sur l'îlet Hardy est constatée et amène à une campagne de dératisation immédiate sur le site (octobre 2006). La dératisation vient après la période de reproduction du puffin d'Audubon. Le nombre de captures de rats est le plus important jamais atteint (178) depuis le début de la campagne d'éradication du rat. En une année, la population de rats est passée d'un effectif quasi nul à un effectif de 178 individus capturés. Aucune trace de prédation n'a été observée directement dans les salles du réseau de galeries de l'îlet Hardy lors du suivi des nids. Les autres espèces d'oiseaux marins venant nicher sur la réserve ont également un succès reproducteur satisfaisant. En 2007, un rat a été capturé lors du contrôle, la campagne de dératisation de l'année précédente a donc permis une diminution conséquente de la population de rats. Ainsi la procédure d'éradication a provoqué une diminution conséquente de la prédation du rat sur la population du puffin d'Audubon et à terme, permet d'assurer en partie le succès de reproduction de l'espèce. Mais il ne faut pas oublier que d'autres facteurs comme la disponibilité en nourriture, le climat et autres peuvent influencer sur la reproduction du puffin d'Audubon.

VI.2.2 La prédation par le faucon pèlerin ou la compétition

Depuis 1995, des cas de prédation sur puffins d'Audubon sont comptabilisés et attribués au faucon pèlerin. Il attaque les adultes particulièrement pendant la phase d'installation des reproducteurs. La carinofaune, en particulier le crabe zombi prédate également les œufs mais surtout les poussins. Ces deux types de prédation me semblent négligeables pour cette espèce, même si le faucon pèlerin affect la survie adulte. Sur le nombre de nuits que j'ai passé sur Hardy, seuls deux cadavres de Puffins ont été trouvés en 2012. Il est de plus, probable, que cette prédation affect principalement les oiseaux immatures.

Des pailles en queue (*Phaeton aethereus*) ont leur nid aux entrées des galeries mais les puffins nichent davantage en retrait donc à priori il n'y a pas de compétition pour l'habitat.

VI.2.3 Le milieu marin, la pêche et les sites d'alimentation

Une modification au niveau des paramètres océanographiques (affectant par exemple l'abondance de nourriture) ou un effet de la pêche à travers des captures accidentelles, pourraient affecter la dynamique de la population des puffins. Aucune évidence n'est cependant disponible aujourd'hui pour confirmer ou infirmer cette hypothèse. Les analyses de taux de survie indiquent que le puffin d'Audubon est sensible aux phénomènes de type El Nino, comme bien d'autres espèces de puffins et pétrels, mais ces phénomènes ne sont pas nouveaux et ne se sont pas accentués récemment. Pour ce qui est des interactions avec la pêche, nous n'avons aucune donnée pour la Martinique ni pour cette espèce de manière générale. Nous espérons en savoir plus grâce à l'utilisation des balises ARGOS et des GLS dans le cadre de la thèse de C. Precheur. Enfin un dernier phénomène mérite d'être évoqué, c'est celui des marées noires. La dernière en date, dans le Golfe du Mexique, semble avoir très fortement affecté les Puffins d'Audubon en provenance des Bahamas (W. MacKin pers.

comm.). Pour l'instant, nous n'avons aucune évidence que les puffins martiniquais se rendent dans le Golfe du Mexique.

Au final, pour ce qui est des paramètres océanographiques au sens large (incluant les activités humaines qui s'y déroulent), nous ne pouvons pas exclure qu'un effet existe, mais à ce jour, nous n'avons aucune évidence de cette existence.

VI.2.4 *Effet de la lumière ambiante et de la colonie sur l'activité vocale*

Le taux de vocalisations et la durée de l'activité vocale la nuit sont réduits quand la lune est visible (V. Bretagnolle, obs. personnelles en Janvier 2012), comme c'est le cas chez les autres puffins. Au Bahamas, le taux d'appels des puffins est corrélé négativement avec le fort éclairage lunaire. A la Réunion, il y a la même constatation. Il est remarqué également une distribution bimodale pour le taux d'appels. L'hypothèse avancée est l'arrivée à la colonie plus tard dans la nuit des oiseaux non reproducteurs (Bretagnolle et al, 2000). Si la lune a un effet naturel, en revanche j'ai noté que l'éclairage nocturne lié au village (restaurants, parking, embarcadère), continu pendant toute la nuit, est considérable et éclaire de manière artificielle tout le versant ouest de l'îlet. Il serait judicieux de travailler sur ce point.

VI.3 La dynamique de la colonie à long terme

Nous ne disposons malheureusement d'aucun chiffres précis ni de suivis détaillés de l'époque de Pinchon. Lors de la découverte de cette colonie, et des expéditions successives qui s'y sont déroulées, on peut cependant affirmer que la population reproductrice était nombreuse (voir ci-dessous), et les nids très accessibles. J'ai eu l'occasion de parcourir les notes et les feuilles de baguage de Pinchon qui sont conservées au musée de Fort de France. Le nombre d'adultes bagués sur œuf était de plusieurs centaines (une année, 250 adultes sont considérés sur œuf). Le nombre d'adultes capturés et bagués dans la grotte est par exemple de 264 le 1 mars 1965. Le nombre de poussins bagués par an était également régulièrement au-delà de 50 (28 poussins en 1959, 25 en 1962, 65 en 1963, 62 en 1964).

Il est donc très clair que la population actuelle de puffins est sensiblement plus faible que dans les années 50. Même si cela est spéculatif, je considère qu'il s'y reproduisait probablement plus de 200 couples (Pinchon lui-même estimait la population à 250 couples reproducteurs). Aujourd'hui, la population serait de 50-100 couples reproducteurs, soit une baisse substantielle, de plus de moitié. Dans le même temps, les Puffins qui dans les années 50 et 60 étaient très accessibles, ne le sont plus aujourd'hui. On constate au fil des années, que les puffins s'installent de plus en plus profondément dans les galeries, donc la majorité des pontes se trouvent en dehors des transects de nids suivis habituellement (Carouge). Cela peut être dû en grande partie au dérangement occasionné lors du suivi, pour ces espèces très sensibles. Les adultes reproducteurs se sont retirés dans les parties les plus inaccessibles des galeries.

Les raisons de ce déclin peuvent être de quatre ordres a priori :

-un dérangement excessif lié aux études (notamment le baguage de jour sur des adultes couvant est fortement proscrit chez cette espèce, et ne peut pas ne pas avoir eu d'impact). Je considère personnellement que c'est la raison principale potentielle.

-un impact des rats, apparus dans les années 90 (peut être avant ?), qui en diminuant année après année le succès reproducteur, aurait affecté la taille de la population. On ne peut exclure ce facteur, mais il est peu probable qu'il s'agisse du facteur principal.

-une compétition/prédation avec les autres espèces d'oiseaux venant nicher sur le site. Cela est fort peu probable.

-une modification au niveau des paramètres océanographiques (affectant par exemple l'abondance de nourriture) ou un effet de la pêche à travers des captures accidentelles. Cela est potentiellement possible, mais non soutenu par une quelconque évidence.

La raison la plus probable du déclin important de la population reproductrice de Puffin d'Audubon est donc le dérangement occasionné par l'Homme, auquel l'action dévastatrice des rats a sans doute contribué également.

VI.4 Recommandations principales

VI.4.1 *Concernant la colonie de reproduction*

Compte tenu des éléments détaillés ci-dessus, il semble urgent d'arrêter complètement toute forme de dérangement sur la colonie. Je propose donc des mesures assez radicales, qui sont par ailleurs déjà plus ou moins mises en place par les agents du Parc et de la Réserve Naturelle.

***Interdiction totale d'entrer dans la galerie de nuit en période de reproduction.** Il s'agit d'une recommandation forte. Les puffins de petite taille sont des espèces fragiles. Si la manipulation des oiseaux sur le lieu de reproduction (le nid, ou sa proximité immédiate) est à proscrire totalement, même la fréquentation du site, à titre conservatoire, est proposée ici⁹. Effet attendu : petit à petit (mais cela peut être long), l'espace occupé par les nids augmentera en superficie.

***La visite des galeries peut se faire sous les conditions suivantes :**

-en dehors de la période de reproduction, c'est-à-dire entre juillet et début Décembre; il serait possible de visiter les galeries.

-Pendant la période de reproduction, éventuellement il serait possible de visiter, de jour, les galeries entre mars et juillet, car à cette époque, les adultes ne sont plus sur les nids. Par exemple, on pourrait mesurer la recolonisation progressive (par la présence de poussins) de l'espace perdu mais autrefois occupé.

***Etudier la possibilité, à titre expérimental, d'accélérer cette recolonisation par la pose et la mise en place de nichoirs artificiels.** Il faudrait réaliser une petite étude bibliographique préalable, puis fabriquer quelques nichoirs prototypes, les mettre en place et les suivre.

VI.4.2 *Concernant le suivi des puffins*

Pour ce qui est du suivi des Puffins, compte tenu de la proposition détaillée ci-dessus, à savoir l'interdiction d'entrer dans la galerie, il n'est pas question de reprendre un suivi de la reproduction. La question se pose cependant concernant le baguage des poussins avant l'envol; ainsi que la question du baguage des adultes, évidemment en dehors de la colonie, c'est-à-dire tel qu'il est pratiqué actuellement avec la pose des filets aux sorties de la galerie. Je distinguerai par ailleurs deux périodes, la période de thèse de C. Precheur, et après.

***Pendant la thèse :** il est clair que les opérations de capture au filet vont se maintenir, ne serait-ce que pour récupérer et poser des balises ou des GLS. Il est ainsi évident que le baguage de ces oiseaux va se poursuivre, ainsi que les contrôles. Pour l'année 2013 d'ailleurs,

⁹ Evidemment, des autorisations dérogatoires pourraient être délivrées à titre exceptionnel. Ainsi, dans le cadre du travail de thèse de C. Precheur, des tests de repasse sont prévus en 2013 (sans lumière).

la pression de baguage sera plus forte que ces dernières années, ce qui permettra au passage de maximiser les recaptures de poussins bagués jusqu'en 2007, avant que ceux-ci n'aient totalement disparus. Le programme de baguage doit être, par ailleurs, renouvelé auprès du CRBPO, sous la responsabilité de N. Venumiere¹⁰.

La question se pose concernant le baguage des poussins. L'analyse des données que nous avons réalisée est tout à fait intéressante, mais ne nécessite pas, en l'état selon moi, de poursuite (compte tenu du taux de recapture par ailleurs très faible).

***Après la thèse :** ayant recommandé de ne plus visiter les galeries (voir cependant ci-dessous), je suggère en contre patrie de maintenir l'effort de capture et de baguage, qui sera du coup le seul moyen de réaliser un suivi, allégé, de la population.

Je recommande de réaliser à l'avenir ce suivi de la population par la pose de filets (comme cela est pratiqué actuellement), sur 2 ou 3 sorties de la galerie, en deux sessions. La première en Mars, la deuxième en Mai. Ce sont des époques où un maximum d'oiseaux fréquentent le site (pour la première, Mars), incluant de nombreux immature non reproducteurs. La deuxième (fin Mai) ne concerne pour l'essentiel que des adultes en fin de reproduction (qui ont donc des jeunes). Chaque session à mon sens doit inclure deux nuits de capture de suite, afin de maximiser le taux de contrôle. Au-delà de deux nuits, on recapture beaucoup d'individus capturés la première nuit, ce qui est inutile. Selon la volonté du Par cet la motivation des agents, d'autres sessions de capture (sur deux nuits) pourraient être envisagées, par exemple en Avril ou en Février.

En résumé donc, je suggère deux sessions de deux nuits chacune au minimum, soit 4 nuits. Le nombre de personnes présentes doit être au minimum de 5 (si deux sorties obstruées) ou 6 (si 3 sorties), dont un bagueur patenté, et au moins une autre personne sachant manipuler les puffins. Plus de personnes présentes n'est pas nécessaire et potentiellement nuisible à la qualité du travail. Il faut absolument mesurer les individus (biométrie complète, poids et aile, mais aussi tarse et bec), réaliser une prise de sang pour le sexage moléculaire (le laboratoire de Chizé peut le faire à titre gracieux). Les filets doivent être tendus exclusivement le matin (à partir de 3.00), pas le soir afin d'éviter de capturer des adultes venant nourrir.

¹⁰ Il s'agit d'un accord obtenu par V. Bretagnolle auprès de O. Dehorter (CRBPO), en Juin 2012

VII. LES AUTRES OISEAUX MARINS DE L'ILET HARDY ET DE LA RESERVE DES ILETS SAINT ANNE: ANALYSE DES DONNEES RECOLTEES ENTRE 1997 ET 2007

La réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne accueille chaque année différentes espèces d'oiseaux marins venus pour nicher en période de reproduction (dont le nombre est variable selon les espèces). Dans les années 80, sept espèces d'oiseaux marins y nichaient (Benito-Espinal et Haucastel 1988), le Puffin d'Audubon, le Noddi brun, la Sterne bridée, la Sterne fuligineuse, le Phaéon à bec rouge, la Sterne de Dougall et la Sterne pierregarin. Ces 2 dernières espèces de Sternes ne nichent plus sur ces îlets. Ces espèces sont étudiées depuis 1995, mais les protocoles standardisés datent de 1997. Ils ont été abandonnés en 2007. L'un des objectifs de la présente analyse est de savoir ce qu'il faudrait éventuellement maintenir ou mettre en place.

VII.1 Protocoles d'étude standardisés

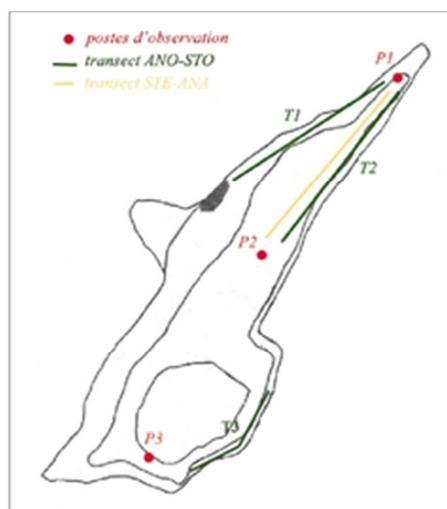
Ce texte est repris et légèrement adapté d'un document du Carouge (rapport d'étude 2005), et résume les différents protocoles d'étude destinés à évaluer les effectifs d'oiseaux marins fréquentant les îlets et à estimer le succès reproducteur (pour les principales espèces). Ils sont adaptés selon l'espèce. Bien que l'ensemble des îlets soit surveillés, les protocoles scientifiques sont essentiellement réalisés sur l'îlet Hardy du fait des difficultés d'accès sur les trois autres îlets et aussi de manière à préserver le reste de la réserve de tout dérangement.

VII.1.1 Comptages visuels sur trois points d'observations fixes

Trois postes d'observations fixes sont localisés en des points stratégiques de l'îlet Hardy (cf. fig. 17) de manière à avoir une vision globale de la colonie. Trois comptages successifs sont réalisés par poste d'observation. Toutes les espèces sont concernées. Les résultats respectifs des espèces sont cumulés afin de donner une estimation des effectifs pour l'îlet Hardy. Ces comptages permettent d'estimer la concentration des populations des espèces nicheuses au cours du temps en fonction de leur installation géographique sur l'îlet. En termes de recommandation, il est indiqué qu'il est préférable que les comptages soient réalisés par les mêmes observateurs lors de chaque sortie et pour tous les points d'observations de manière à obtenir des données comparables.

Figure 27. Carte de l'îlet Hardy, montrant les trois points d'observation fixes à partir desquels les comptages sont réalisés, ainsi que les trois transects (deux pour les noddis, T1 et T2) et un pour la sterne bridée, en jaune.

Remarques : Il n'est pas clair si les données présentées dans les différents rapports concernent le nombre maximal des trois comptages d'un point donné à une date donnée, ou la moyenne des 3 est retenue (sur la base de 2006, ou tous les chiffres sont dispos, c'est la moyenne, puis la somme des moyennes sur les trois points, ce qui n'est pas forcément très logique). Par ailleurs, ces



comptages sont réalisés jusque tard en saison de reproduction, et incluent donc des juvéniles à l'envol. Je n'ai donc pas pris en compte les comptages de fin de saison qui incluent les juvéniles, dans l'optique d'évaluer la taille des effectifs reproducteurs.

VII.1.2 Réalisation de transects

Deux espèces bénéficient d'un protocole de suivi des nids par transect : il s'agit de *Anous stolidus* et *Sterna anaethetus*. Le long d'un parcours linéaire réalisé à pied par un observateur (voir Figure 17), vingt nids abritant une ponte sont numérotés et contrôlés lors de chaque visite. Deux transects de vingt nids numérotés de 1 à 20 sont habituellement réalisés sur la pointe nord de l'îlet Hardy pour l'espèce *Anous stolidus* ; certaines années, un autre transect est établi afin que le succès reproducteur et le cycle biologique pour cette espèce puissent être analysés, du fait de la présence abondante de l'espèce *Sterna fuscata* empêchant la réalisation du protocole sur le trajet du transect n°2. Un transect de vingt nids numérotés de A à T est réalisé à partir de la pointe nord ouest de l'îlet Hardy pour *Sterna anaethetus*.

La présence de l'œuf, du poussin ou du juvénile ainsi que celle des parents est relevée lors de chaque sortie afin d'estimer le succès reproducteur, d'étudier les cycles de reproduction et les rythmes d'activités pour chaque espèce.

VII.1.3 Suivis de nids fixes

Certaines espèces comme *Phaeton aethereus* reviennent chaque année dans la même cavité rocheuse pour pondre. Quinze nids (en 2007) ont ainsi été identifiés sur l'îlet Hardy et sont inspectés lors de chaque visite. La présence de l'œuf, du poussin ou du juvénile ainsi que celle des parents est alors relevée. La prospection d'éventuels nouveaux nids est également réalisée.

VII.1.4 Bref historique des suivis réalisés

En fait en réalité, ces différents protocoles ont été utilisés de manière assez variable selon les années :

*1997 : séjour du 10 juin au 10 juillet ; puis 2 visites par semaine jusqu'en août. Cette année là, le protocole de comptage réalisé pour les sternes fuligineuses consiste à placer des disques aléatoires de 25m² sur l'îlet et à dénombrer les nids.

*1998 : nombreux séjours sur l'îlet Hardy. Des transects sont mis en place (pour les Noddis et sternes bridées), les disques aléatoires sont abandonnés et remplacés par des photos aériennes en ULM (sternes fuligineuses).

*1999 : transects réalisés (Noddis et bridées ; Hardy seulement) et photos aériennes en ULM (sternes fuligineuses) ; ainsi que comptages à partir de postes fixes.

*2000 : transects noddis et marquage de nids. Visites hebdomadaires réalisées du 10 février jusqu'au 27 juillet 2000 permettent de comptabiliser la présence de nicheurs, d'œufs, de poussins et l'état d'avancement du développement de chaque poussin. L'évaluation du succès reproducteur de la Sterne bridée a été conduite sur un seul transect (5 nids).

*2001. Le suivi des nids de noddis s'est fait de façon habituelle à partir des 2 transects préétablis, situés du côté nord de l'îlet Hardy. Sur chacun de ces transects, une vingtaine de nids ont été marqués. Visites hebdomadaires réalisées du 5 mai jusqu'au 16 septembre 2001. L'évaluation du succès reproducteur de la Sterne bridée a été conduite sur un transect (8 nids). Pour les *S. fuligineuses*, un dénombrement de la population a été réalisé à partir de photographies aériennes prises à basse altitude (moins de 100 m) avec un objectif de 400 mm.

*2002. Pour les noddis et sternes bridées, 2 transects. Pour les *S. fuligineuses*, comptages uniquement à partir des 3 postes fixes. Visites hebdomadaires.

*2003. Pour les noddis et sternes bridées, 2 transects. Pour les *S. fuligineuses*, comptages uniquement à partir des 3 postes fixes. Visites hebdomadaires (15/4-11/7).

*2004. Le suivi des nids de Noddis fut opéré selon le protocole établi, c'est à dire à partir de deux transects préalablement définis en 2000. Une vingtaine de nids ont été marqués pour chaque transect. Visites hebdomadaires ont été réalisées entre la première semaine de mai jusqu'au 12 août 2002. Concernant la Sterne bridée, la détermination du succès reproducteur a été réalisée par l'observation d'un transect.

*2005 : Les trois méthodes classiques (points fixes, transects et suivis de nids) sont mises en place. Pour l'année 2005, les sorties ont été effectuées une fois par semaine du 17 janvier au 23 novembre.

*2006 : Les trois méthodes classiques (points fixes, transects et suivis de nids) sont mises en place. Visites quasi hebdomadaires du 20/4 au 20/9. Au cours de la saison, l'arrivée massive de sternes (*Sterna fuscata*) sur l'îlet Hardy et leur installation sur la pointe Nord ont empêché le suivi des nids d'*Anous stolidus* sur le transect 2, du fait d'un dérangement trop important induit par le passage d'un observateur au milieu de la colonie. Un troisième transect a donc été établi sur la pointe Sud-ouest afin de pouvoir étudier le succès reproducteur d'*Anous stolidus*. Le suivi de ce nouveau transect s'est fait à partir du 04 juin 2006, date à laquelle un échantillon de vingt pontes a été répertorié.

*2007 : Les trois méthodes classiques (points fixes, transects et suivis de nids) sont mises en place. Visites quasi hebdomadaires du 31/3 au 15/9.

VII.1.5 Reconstitution des données quantitatives

A partir des rapports, j'ai donc reconstitué des tableaux quantitatifs concernant les effectifs, la phénologie et le succès de reproduction, et enfin les effectifs. La tâche était assez compliquée du fait de l'hétérogénéité des rapports, du manque de données ou de précisions etc. Il existe plusieurs cas où les données ont été obtenues pour une année donnée non pas dans le rapport de l'année concernée, mais dans un rapport ultérieur au gré d'une analyse de synthèse.

A noter également qu'aucune donnée brute (sauf quelques cas où elles figurent en annexe dans les rapports annuels) n'a pu être obtenue ; les tableaux ne font donc que compiler des valeurs obtenues dans les rapports, et ne sont pas recalculées. Ceci pose typiquement problème pour les calculs de succès reproducteurs, chaque auteur de rapport ne mettant pas nécessairement les mêmes numérateurs ou dénominateurs. Dans les tableaux correspondants, j'ai distingué le succès reproducteur global (nombre de poussins envolés sur nombre d'œufs pondus) d'autres mesures du succès reproducteur.

VII.2 La sterne fuligineuse

VII.2.1 Effectifs

La lecture et la compilation des rapports a permis de réaliser une synthèse des données, qui est certainement très partielle et entachée d'erreur ou d'incertitude (il n'est pas toujours très clair si les effectifs sont estimés en nombre de couples ou en individus par exemple). La population de sternes fuligineuses se reproduisant sur la RNSIA est de l'ordre de 12 000 couples, au moins pour les années initiales. Bien qu'il soit difficile de se prononcer avec certitude, il semble qu'il y ait un déclin des effectifs reproducteurs au cours des 15 dernières années (en 2012, apparemment aucun couple ne s'est reproduit sur aucun des îlets). Ce déclin semble notamment manifeste pour l'îlet Hardy (ou une absence totale de reproduction a par ailleurs été notée pendant 3 ans, en raison de la surabondance des rats), avec des effectifs divisés par deux entre 1997 et 2007.

Tableau 9. Effectifs de sternes fuligineuses dénombrées sur la réserve entre 1997 et 2007.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Méthode (Hardy)	disques	ULM	Postes fixes		Photos	Postes fixes	Postes fixes	Postes fixes	Postes fixes	Photos	Postes fixes
Hardy	2740-6051 c	3500 c	0	0	0	2000-2500 ind (date ?)	3315 ind (27/5)	2400 ind (27/2)	7000 ind (11/8)	3800-4200 ind (17/6)	2518 ind (26/5)
Percé	579-1778 c	0	-	-						0	
Burgaux	23 c	0	-	0					200 ind (21/7)	320 ind	
Poirier	>5000 c	?	1000 ?	X 1000	>11150 c			?	5000 ind (11/2)	11170 ind (17/6)	X 1000
Total RNSIA	8342-12852 c	?	?	?	>11150 c	?	?	?	>6100c	9745 c	

Sont indiqués la méthode de comptage, les effectifs maximaux, et la date à laquelle l'effectif était maximal.

Les effectifs maximaux sont comptabilisés, sur Hardy, à des dates très variables (de février à août), ce qui ne facilite pas bien entendu l'identification d'une date optimale pour réaliser les dénombrements.

VII.2.2 Bilan de la chronologie de reproduction

Pour ce qui est de la phénologie de reproduction, les données sont encore plus partielles. Les dates d'arrivées (sur Hardy) sont très variables, entre janvier et avril. Par voie de conséquence, les dates de ponte le sont aussi, d'autant qu'on assiste régulièrement à des reports de colonies d'un îlet à l'autre en fonction des échecs de reproduction. Une ponte en Mai est cependant une situation assez fréquente (4 années sur 7). Lorsqu'une deuxième ponte a lieu, cela a systématiquement été en juillet. Il est probable que des données complémentaires existent dans des carnets de terrain, le tableau suivant doit donc être pris comme un état des lieux des connaissances, à compléter. En tout état de cause, il n'existe pas de tendance détectable sur la phénologie de reproduction de cette espèce sur la période d'étude.

Tableau 10. Phénologie de la reproduction des sternes fuligineuses sur la réserve entre 1997 et 2007.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Arrivée					26/1		4/4	6/2	17/1, puis 21/7	5/5	24/2
Ponte	20/5- 6/6	12/3- 21/4	5/5	Février (Poirier)	Janvier (puis 20/8)		27/5	4/3- 11/3	?	15/5	
Éclosion	18/6- 3/7	9/4- 19/5						19/3			
Deuxième ponte					26/7		4/7		27/7		

Les chiffres indiqués en italiques sont des valeurs recalculées à partir d'une date réellement observée. Par exemple, en 1997, la date d'éclosion observée est 18/6-3/7, suggérant que la ponte a eu lieu entre 20/5-6/6 (durée d'incubation de 29 jours)

VII.2.3 Succès reproducteur

Malheureusement très peu de données s'avèrent disponibles pour cette espèce. La seule chose que l'on puisse dire est que le succès reproducteur sur Hardy, est marginal voire nul depuis 2003, ce qui évidemment est fort inquiétant quant à l'avenir de l'espèce sur les îlets.

Tableau 11. Succès reproducteur de la sterne fuligineuse sur la réserve entre 1997 et 2007.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Taux de Ponte											
Succès Éclosion (%)	90.5		0								0 ?
Survie Pullis (%)	85%		0				10- 20% ?	7%	0		0

VII.2.4 Conclusions et recommandations pour la Sterne fuligineuse

Bien qu'il s'agisse de l'oiseau marin numériquement le plus abondant sur la réserve, son suivi et sa population ont été assez mal renseignés malheureusement. Il semble que les effectifs ont diminué légèrement (cela serait à confirmer à l'aide des chiffres, s'ils existent, entre 2008 et 2012) ; il semble également que sur la période 1997-2007 les pontes de remplacement (traduisant un échec de la première ponte) soient assez fréquentes ; enfin, le succès reproducteur chez cette espèce semble particulièrement faible sur la RNISA (bien que très variable). La prédation par les rats, puis par le faucon pèlerin, ont été évoqués de manière répétée pour expliquer l'un ou l'autre de ces phénomènes, dans la plupart des rapports annuels.

L'espèce est-elle en déclin sur la réserve ? Il est difficile de se prononcer objectivement, mais il me semble que la tendance est négative, ce qui est attesté par les effectifs dénombrés notamment sur Hardy, et la très faible valeur du succès reproducteur. Le report de la colonie sur les autres îlets (Poirier en particulier) est mal connu et suivi. Mais des échecs complets de la reproduction sur Poirier sont également documentés.

Quelles sont les causes de ce déclin apparent ? Faucon pèlerin et rats sont évoqués. Le premier est un prédateur occasionnel mais connu et confirmé de sternes. Sa prédation touche les adultes, ce qui chez une espèce longévive comme la sterne fuligineuse peut avoir des répercussions importantes en matière de dynamique de population. Je ne connais cependant aucun cas dans la littérature de prédation soutenue de F. Pèlerin sur la sterne fuligineuse, et personnellement je suis peu enclin à imaginer que la cause principale d'échec ou de déclin de cette espèce soit liée à la prédation par le faucon. Les rats ont un impact bien connu sur cette espèce, à travers leur prédation sur les œufs et surtout les petits poussins. Cependant les rats étant actuellement contrôlés sévèrement (si ce n'est éradiqués) sur ces îlets la plupart des années, il semble difficile de penser que le rat soit la cause de déclin actuelle (mais c'est une menace potentielle très forte). Reste enfin le dérangement humain, pour des raisons intentionnelles (récolte d'œufs) ou non (dérangement par des touristes). Les différents rapports évoquent régulièrement cette éventualité. Il est difficile de juger de la réalité de cette menace, de nombreuses colonies à travers le monde sont régulièrement exploitées pour les œufs ou visitées par des touristes, sans que l'espèce ne décline.

Que faire à l'avenir en matière de suivis ? En matière de dénombrement, l'espèce qui peut se reproduire en colonies gigantesques (par exemple aux Seychelles) n'est pas facile à dénombrer. Les méthodes employées dans les îlots en Nouvelle Calédonie (Robinet et al. 1997, Bretagnolle & Pandolfi 2000, Borsa et al. 2011) semblent cependant tout à fait envisageables sur l'îlet Hardy. Deux étapes successives sont à mettre en œuvre :

- 1/ évaluer la superficie de la colonie sur une carte (visuellement, ou par photo).
- 2/ réaliser des transects pour estimer la densité de nids au mètre carré. Par exemple, marcher dans la colonie (une seule fois) le long d'un transect avec un GPS (pour garder un cap et mesurer la distance parcourue) et compter tous les nids sur deux mètres de largeur (un mètre de chaque côté), en détaillant les effectifs tous les 5 mètres (on obtient ainsi une suite de valeurs, tous les 10 m²). Faire deux transects (longueur et largeur) est plus prudent. Viser le stade couvaison (proscrire le stade poussin, du fait des crèches et du dérangement).

Pour ce qui est des autres îlets, notamment Poirier, où la colonie peut être très importante, le dénombrement aérien serait peut être une alternative, bien qu'il me semble qu'un dénombrement par transect (comme évoqué ci-dessus) une fois dans l'année ne constitue ni une gêne pour la colonie, ni un temps de travail conséquent. Ces dénombrements ne demandent pas non plus de technicité particulière.

Pour ce qui relève du succès reproducteur, le suivi de nids semble hors de portée. Eventuellement, une estimation, même entachée d'incertitude, de la crèche de juvéniles (bien cibler cependant la période), comparativement aux nombre de pontes, fournirait une évaluation.

Que faire à l'avenir en matière de conservation ? L'espèce n'est ni un enjeu mondial ni un enjeu local. Cependant, elle est numériquement abondante sur la réserve, et il me semble que le Parc devrait mettre en œuvre une stratégie conservatoire dédiée à la sterne fuligineuse. En commençant par dénombrer correctement les effectifs (comme détaillé ci-dessus).

VII.3 Noddi brun

VII.3.1 Effectifs

La lecture et la compilation des rapports a permis de réaliser une compilation des données, qui est certainement très partielle et entachée d'erreur ou d'incertitude (il n'est pas toujours très clair si les effectifs sont estimés en nombre de couples ou en individus par exemple). La population de noddis se reproduisant sur la RNSIA est de l'ordre de 300-600 couples, au moins pour les années initiales. Sur Hardy, les effectifs ont semble-t-il décliné après l'épisode de 1999, où la surabondance de rats a éliminé virtuellement tous les œufs et poussins. Depuis, les effectifs semblent se reconstituer. Les noddis sont très synchrones (voir ci-dessous), et l'effectif maximal compté (sur les points d'observations) se situe généralement en Mai (ou avant fin Juin).

Tableau 12. Effectifs de noddis dénombrés sur la réserve entre 1997 et 2007.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Méthode (Hardy)	?	transects		?	Photos	Postes fixes	Postes fixes	Postes fixes	Postes fixes	Postes fixes	Postes fixes
Hardy	155c	231c	50c	32 ind (5/7)	30 ind (20/7)	?	110 ind (26/6)	105 ind (1/5)	130 ind (11/5)	128 ind (5/5)	205 ind (14/6)
Percé	9 c	23c									
Burgaux	30 c	202c									
Poirier	110c	120c									
Total RNSIA	304 c	576 c									

Sont indiqués la méthode de comptage, les effectifs maximaux, et la date à laquelle l'effectif était maximal.

VII.3.2 Chronologie de la reproduction

Les données, au moins pour les dates de ponte, sont assez précises et fréquentes pour cette espèce. Les pontes s'étalent du 10/4 au 28/5, mais l'essentiel des œufs semblent déposés en Mai. L'espèce semble assez synchrone (c'est le cas ailleurs sur son aire de distribution), mais des variations existent entre années, de l'ordre d'un mois. Aucune tendance n'est décelée. En règle générale, les noddis arrivent sur Hardy en Avril, et pondent moins d'un mois plus tard. Il est donc assez aisé, pour cette espèce, de cibler une période de comptage optimale (voir ci-après dans les recommandations).

Tableau 13. Phénologie de la reproduction des noddis sur la réserve entre 1997 et 2007.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Arrivée					14/2			16/4	21/4	20/4	7/4
Ponte	9/5-22/5	22/4-14/5	10/4	2/5	5/5-18/5	?	15/4-22/5	15/5-28/5	29/4	5/5	4/5
Eclosion		25/5-27/6	15/5	7/6	14/6		27/5-5/6	13/6-19/6	2 juin	4/6	

Les chiffres indiqués en italiques sont des valeurs recalculées à partir d'une date réellement observée. Par exemple, en 2000, la date d'éclosion observée est 7/6, suggérant que la ponte a eu lieu vers le 2/5 (durée d'incubation de 35 jours)

VII.3.3 Succès reproducteur

Comme pour la phénologie de reproduction, nous disposons pour cette espèce de données relativement robustes et nombreuses. Le succès à l'éclosion est très variable, de même que la survie des poussins. Ce n'est nullement étonnant pour cette espèce. Le succès reproducteur global est cependant souvent élevé (plus de 60%). Le tableau ci-dessous reproduit les valeurs tirées des différents rapports. La figure 18 reprend une figure d'un des rapports, et illustre parfaitement la difficulté de compilation des données, puisque si dans l'ensemble, les valeurs entre le tableau et la figure correspondent, ce n'est clairement pas le cas en 1997 et 1998.

Tableau 14. Succès reproducteur des noddis sur la réserve entre 1997 et 2007.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Taille d'échantillon				38	40	?	40	40	40	40	80
Taux de Ponte (%)				100%	100%		97.5%	100%	100%	100%	
Succès Eclosion (%)	80%	88.4%	20%	92%	82%	87.5%	66.6%	100%	67.5%	82.5%	25%
Survie Pullis (%)	68%	54.3%	5%	82-87%	65-80%		50-100% (33-66%)	75%	89% (60%)	75% (62.5%)	(5%)

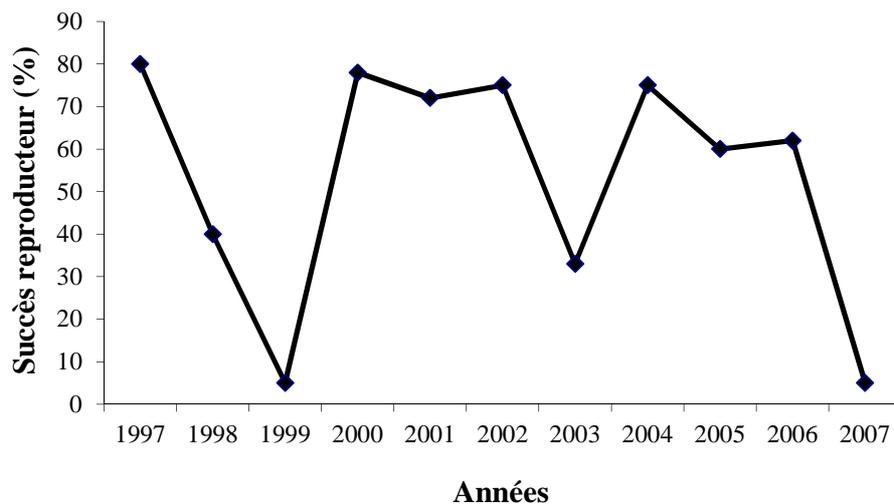


Figure 28. Tendances sur le succès reproducteur des noddis (figure tirée du rapport de 2007).

VII.3.4 Conclusions et recommandations pour le Noddi brun

Au contraire de la Sterne fuligineuse, le noddi bénéficie, au moins sur Hardy, d'un suivi régulier et standardisé pour la phénologie de reproduction et le succès reproducteur. Les effectifs sont également dénombrés, mais à l'aide d'une méthode qui ne permet pas d'extrapoler à l'effectif nicheur sur l'îlet. Au vu des données disponibles, les effectifs, la phénologie de reproduction, et le succès reproducteurs sont stables sur la période 1997-2007.

L'espèce est-elle en déclin sur la réserve ? Assez clairement non, sur la base des données disponibles. Un déclin a été enregistré dans les années 2000 cependant, et les effectifs de 2007 correspondent à peu près aux effectifs présents en 1997. Cette conclusion nécessite cependant

deux nuances : les dénombrements opérés sur Hardy ne sont pas des effectifs de couples reproducteurs, mais des individus comptés sur des points fixes. Par ailleurs, les données disponibles sont interrompues après 2007.

Quelles sont les facteurs potentiels agissant sur la dynamique des populations de noddis?

Le Faucon pèlerin ne semble pas être un prédateur spécialisé sur les noddis. Les rats ont par contre eu un impact plus sérieux (succès reproducteur quasi nul en 1999). Cependant les rats étant actuellement contrôlés sévèrement (si ce n'est éradiqués) sur ces îlets la plupart des années, il semble difficile de penser que le rat soit une cause de déclin (mais c'est une menace potentielle très forte).

Que faire à l'avenir en matière de suivis ? En matière de dénombrement, l'espèce n'est pas facile à dénombrer, non pas en raison des effectifs atteints mais en raison du caractère discret des nids, et de leur emplacement pas toujours aisé d'accès. Les méthodes employées dans les îlots en Nouvelle Calédonie (Robinet et al. 1997, Bretagnolle & Pandolfi 2000, Borsa et al. 2011) semblent cependant tout à fait envisageables sur l'îlet Hardy. Deux étapes successives sont à mettre en œuvre :

- 1/ évaluer la superficie de la colonie sur une carte (visuellement, ou par photo).
- 2/ réaliser des transects pour estimer la densité de nids au mètre carré. Par exemple, marcher dans la colonie (une seule fois) le long d'un transect avec un GPS (pour garder un cap et mesurer la distance parcourue) et compter tous les nids sur deux mètres de largeur (un mètre de chaque côté), en détaillant les effectifs tous les 5 mètres (on obtient ainsi une suite de valeurs, tous les 10 m²). Faire deux transects (un de chaque côté de l'îlet) est plus prudent. Viser le stade couvaion.

Que faire à l'avenir en matière de conservation ? L'espèce n'est ni un enjeu mondial ni un enjeu local. Cependant, malgré un suivi assez fin, il est impossible d'avoir une idée précise des effectifs, non seulement ceux présents sur Hardy, mais également pour les autres îlets. Le Parc devrait donc mettre en œuvre une stratégie conservatoire dédiée au noddie afin de se doter d'une connaissance des effectifs, à défaut de leurs tendances.

Pour ce qui relève du succès reproducteur, le suivi de nids semble facile chez cette espèce et pourrait être poursuivi de manière allégée (il n'est pas indispensable de visiter les 40 nids toutes les semaines ; tous les 20 jours pourraient suffire). Je recommande également que sur les 40 nids suivis, les œufs soient mesurés. Le volume des œufs est un bon proxy des conditions alimentaires trouvées en mer.

VII.4 Sterne bridée

VII.4.1 Effectifs

La lecture et la compilation des rapports a permis de réaliser une compilation des données, qui est certainement très partielle et entachée d'erreur ou d'incertitude (il n'est pas toujours très clair si les effectifs sont estimés en nombre de couples ou en individus par exemple). La population de sternes bridées se reproduisant sur la RNSIA est de l'ordre de 100-150 couples. Bien qu'il soit difficile de se prononcer avec certitude, la population semble stable, et la surabondance des rats en 1999, au contraire des noddis, ne semble pas avoir affecté la taille de la population reproductrice.

Tableau 15. Effectifs des sternes bridées dénombrées sur la réserve entre 1997 et 2007.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Méthode (Hardy)	disques	ULM	Postes fixes	?	Photos	Postes fixes	Postes fixes	Postes fixes	Postes fixes	Photos	Postes fixes
Hardy	90	87	75	96 ind (21/6)	46 ind (29/6)	?	70 ind (25/7)	138 ind (29/5)	115 ind (17/6)	75 (12/5)	56 ind (23/7)
Percé											
Burgeaux											
Poirier											
Total RNSIA	130	108									

Sont indiqués la méthode de comptage, les effectifs maximaux, et la date à laquelle l'effectif était maximal.

VII.4.2 Chronologie de la reproduction

Comme pour le noddid, la période de reproduction, notamment la période de ponte, est assez synchrone chez cette espèce, et l'est par ailleurs avec celle du Noddid. En gros, les sternes bridées pondent en Mai. On ne détecte pas de tendance temporelle à cette période de ponte.

Tableau 16. Phénologie de la reproduction de la sterne bridée sur la réserve entre 1997 et 2007.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Arrivée					5/5				11/5	20/4	7/4
Ponte	<i>1/5- 15/6</i>	4-22/5		4-11/5	25/5	?	Avant 22/5	Avant 21/5		25/5	Avant 4/5
Éclosion	<i>1/6- 15/7</i>						27/5- 5/6	13/6- 19/6			

Les chiffres indiqués en italiques sont des valeurs recalculées à partir d'une date réellement observée. Par exemple, en 2000, la date d'éclosion observée est 7/6, suggérant que la ponte a eu lieu vers le 2/5 (durée d'incubation de 30 jours)

VII.4.3 Succès reproducteur

Le succès reproducteur est assez bien documenté pour cette espèce, au moins pour ce qui relève du nombre d'années pour lesquelles nous disposons de valeur (les tailles d'échantillon, notamment au début de la période considérée, sont cependant modestes). Comme pour les noddis, le succès reproducteur est très variable d'une année à l'autre. Le succès reproducteur

des deux espèces est par ailleurs assez bien corrélé, alors qu'elles ne sont pas censées s'alimenter sur les mêmes proies.

Tableau 17. Succès reproducteur de la sterne bridée sur la réserve entre 1997 et 2007.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Taille d'échantillon				5	8	16	20	20	20	0	40
Succès Ponte				100%	100%		100%	100%	(100%)	-	
Succès Ecllosion	46-69%	75.7%	0%	100%	75%	75%	40%	55%	95%	-	
Survie Pullis	59%	53.8% (31.8%)	0%	40-80% (33-67%)	50-100% (38-75%)	75% (25-75%)	75-100% (30-40%)	54-100% (30-55%)	50-100% (50-95%)	-	0% (sur transects)

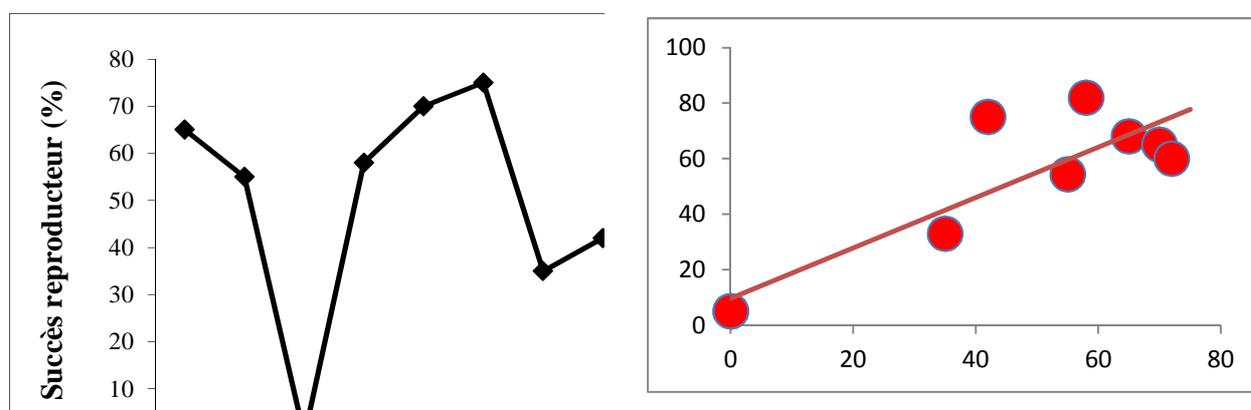


Figure 29. A gauche, succès reproducteur de la Sterne bridée (1997-2007). A droite, corrélation entre le succès reproducteur du noddidi et de la sterne bridée

VII.4.4 Conclusions et recommandations pour la Sterne bridée

Au contraire de la Sterne fuligineuse, la sterne bridée comme le noddidi bénéficie, au moins sur Hardy, d'un suivi régulier et standardisé pour la phénologie de reproduction et le succès reproducteur. Les effectifs sont également dénombrés, mais à l'aide d'une méthode qui ne permet pas d'extrapoler à l'effectif nicheur sur l'ilet. Au vu des données disponibles, les effectifs, la phénologie de reproduction, et le succès reproducteurs sont stables sur la période 1997-2007.

L'espèce est-elle en déclin sur la réserve ? A priori non, sur la base des données disponibles. Cette conclusion nécessite cependant deux nuances : les dénombrements opérés sur Hardy ne sont pas des effectifs de couples reproducteurs, mais des individus comptés sur des points fixes. Par ailleurs, les données disponibles sont interrompues après 2007. De plus l'effectif sur Hardy est mal connu, mal suivi, et l'effectif sur l'ensemble de la réserve est lui, inconnu.

Quelles sont les facteurs potentiels agissant sur la dynamique des populations de la sterne bridée? Le Faucon pèlerin est visiblement un prédateur de sternes bridées, même s'il n'est pas spécialisé sur cette espèce. Compte tenu du fait que l'effectif est faible, on ne peut exclure que le faucon ait un effet négatif sur cette population, soit par prédation directe, soit par effet indirect (dérangement, stress). Les rats ont eu un impact majeur sur l'espèce (succès

reproducteur nul en 1999). Cependant les rats étant actuellement contrôlés sévèrement (si ce n'est éradiqués) sur ces îlets la plupart des années, il semble difficile de penser que la rat soit une cause de déclin (mais c'est une menace potentielle très forte).

Que faire à l'avenir en matière de suivis ? En matière de dénombrement, l'espèce n'est pas facile à dénombrer, non pas en raison des effectifs atteints mais en raison du caractère discret des nids, et de leur emplacement pas toujours aisé d'accès. Les méthodes employées dans les îlots en Nouvelle Calédonie (Robinet et al. 1997, Bretagnolle & Pandolfi 2000, Borsa et al. 2011) semblent cependant tout à fait envisageables sur l'îlet Hardy. Deux étapes successives sont à mettre en œuvre :

1/ évaluer la superficie de la colonie sur une carte (visuellement, ou par photo).

2/ réaliser des transects pour estimer la densité de nids au mètre carré. Par exemple, marcher dans la colonie (une seule fois) le long d'un transect avec un GPS (pour garder un cap et mesurer la distance parcourue) et compter tous les nids sur deux mètres de largeur (un mètre de chaque côté), en détaillant les effectifs tous les 5 mètres (on obtient ainsi une suite de valeurs, tous les 10 m²). Faire deux transects (par exemple en parallèle ; ou alors couvrir toute la longueur de l'îlet) est plus prudent. Viser le stade couvaion.

Que faire à l'avenir en matière de conservation ? L'espèce n'est ni un enjeu mondial ni un enjeu local. Cependant, malgré un suivi assez fin, il est impossible d'avoir une idée précise des effectifs, non seulement ceux présents sur Hardy, mais également pour les autres îlets. Le Parc devrait donc mettre en œuvre une stratégie conservatoire dédiée à la Sterne bridée afin de se doter d'une connaissance des effectifs, à défaut de leurs tendances.

Pour ce qui relève du succès reproducteur, le suivi de nids semble facile chez cette espèce et pourrait être poursuivi de manière allégée (il n'est pas indispensable de visiter les 20 nids toutes les semaines ; tous les 20 jours pourraient suffire). Je recommande également que sur les 20 nids suivis, les œufs soient mesurés. Le volume des œufs est un bon proxy des conditions alimentaires trouvées en mer.

VII.5 Phaeton à bec rouge

VII.5.1 Reproduction, succès reproducteur et effectifs

Le phaéton se reproduit sur Hardy depuis 1995 (au moins), mais pour cette espèce, on assiste très clairement à une augmentation très substantielle des effectifs, même si ceux restent modestes. Avec 3 couples sur Hardy en 1997-1999, l'année 2000 voit l'installation de six couples de Phaéton à bec rouge sur l'îlet Hardy. En 2001, 5 couples de Phaéton se sont établis sur l'îlet Hardy. En 2003, 11 nids sont dénombrés, ainsi qu'en 2004 ; puis 10 couples en 2005, pour finir à 16 couples en 2007 (Figure 22). Sur la période 1997-2007, en moyenne deux couples supplémentaires se sont installés par an. En 2012, le nombre de couple était semble-t-il identique (voir inférieur) à celui de 2007, il semble donc que la progression numérique du Phaéton soit arrêtée.

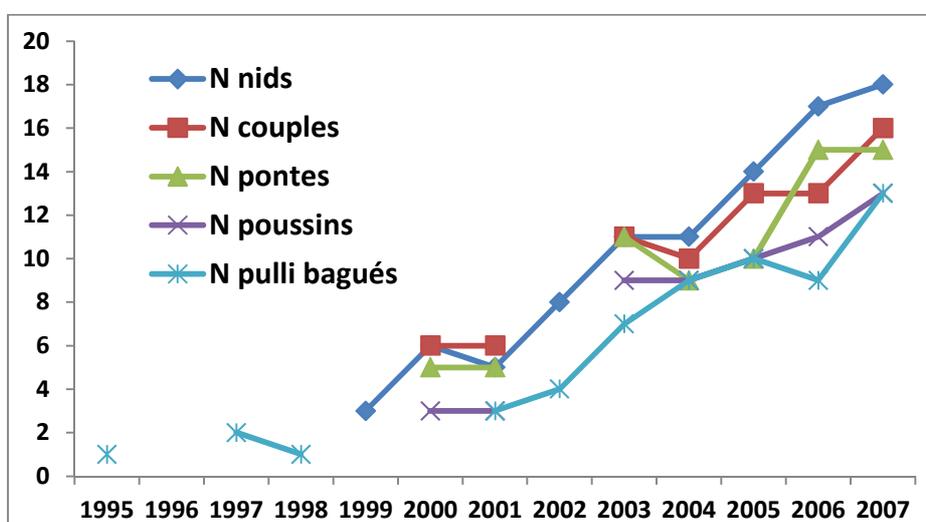


Figure 30. Evolution des effectifs reproducteurs de Phaétons sur Hardy.

En parallèle à l'augmentation du nombre de couples reproducteurs, le succès reproducteur a lui aussi augmenté (Figure 23), bien que moins vite. Le succès reproducteur est stable depuis 2003, à une valeur toutefois élevée.

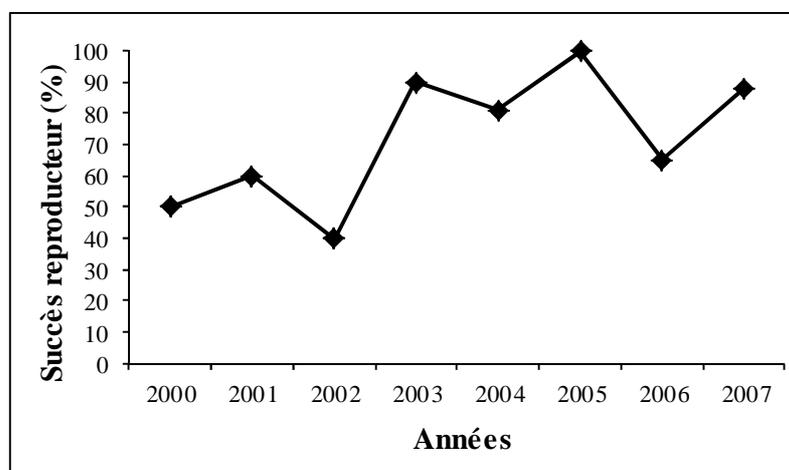


Figure 31. Succès reproducteur des Phaétons à bec rouge durant les suivis 2000 à 2007

En termes de phénologie de reproduction, les données de 2007 sont assez précises. La première présence d'adultes de Phaéton à bec rouge a été relevée le 13 janvier 2007, date à laquelle il y avait déjà 2 nids avec un juvénile, 1 nid avec un poussin, et 1 nid avec un œuf. En fait, les Phaétons réoccupent leurs sites de reproduction dès Novembre (Raigné 2006b). En 2007, le dernier œuf a été pondu entre le 10 et le 18 mars, soit près de 4 mois après le premier, témoignant d'une période de ponte relativement asynchrone chez cette espèce. Et le dernier juvénile a quitté définitivement le nid entre le 20 et le 28 juin. Dès la fin octobre 2007, le premier phaéton était de retour au nid pour une nouvelle saison de reproduction. Il arrive également de manière assez fréquente que deux reproductions soient observées la même année dans le même nid, ce qui tendrait à suggérer que la présence de cavité est un facteur limitant pour cette espèce. C'est d'ailleurs peut-être pour cette raison que la population n'augmente plus.

VII.5.2 Conclusions et recommandations pour le Phaéton

Les données sur les phaétons sont très précises en ce qui concerne les effectifs (les couples sont en effet dénombrés à l'unité). Le succès reproducteur est également très bien suivi. Cette espèce a fait enfin l'objet d'un programme de baguage. Malheureusement, celui-ci est pour l'instant arrêté, et je n'ai pas pu, par ailleurs, avoir accès aux données pour l'instant, et ne suis donc pas en mesure d'évaluer ce qui pourrait être fait à partir de cette base de données.

L'espèce est-elle en déclin sur la réserve ? Evidemment non, l'espèce est au contraire en pleine expansion numérique, même si les effectifs sont encore très modestes.

Quelles sont les facteurs potentiels agissant sur la dynamique des populations des phaétons? L'augmentation récente des effectifs (au moins entre 1997 et 2007) s'apparente assez probablement à un recouvrement d'effectifs présents antérieurement (pas de données disponibles). C'est donc probablement la raison de cette augmentation. Cependant, sur la base de mes observations en 2012 (trois séjours sur Hardy), la population de Phaéton était en 2012 de 10-11 couples, soit sensiblement moins par exemple qu'en 2007. La population est-elle aujourd'hui à nouveau en déclin ?

Que faire à l'avenir en matière de suivis ? Il faut impérativement maintenir le suivi de cette espèce, et probablement reprendre le programme de baguage (avec des précautions, il ne faut pas par exemple manipuler les adultes sur oeuf).

Que faire à l'avenir en matière de conservation ? L'espèce n'est ni un enjeu mondial ni un enjeu local. Il pourrait être utile cependant de réfléchir à l'opportunité de créer des sites de reproduction (anfractuosités).

VIII. CONCLUSION ET ELEMENTS POUR LA GESTION ET LE SUIVI

VIII.1 La problématique des rats

VIII.1.1 Bref rappel historique¹¹

Les opérations d'éradication ont été initiées à partir de novembre 1998 par une expertise effectuée, à la demande du PNRM, par le Laboratoire de la Faune Sauvage de l'INRA de Rennes qui confirma qu'il existait une population de rats qui se développait sur l'ensemble des îlets de la réserve (cf. *Compte rendu de l'expertise sur l'opportunité et les modalités d'une éventuelle éradication des populations de Rattus rattus des îlets de la Réserve Naturelle des Îlets de Sainte-Anne- INRA- Décembre 1998*). La première tentative d'éradication fut réalisée entre le 5 novembre et le 7 décembre 1999 (cf. *Compte rendu factuel de l'opération d'éradication des populations de rats noirs des îlets de la Réserve Naturelle des Îlets de Sainte Anne – INRA – Décembre 1999*). Sous l'égide du PNRM, cette expérience fut encadrée scientifiquement par l'équipe de la Faune Sauvage et Biologie de la Conservation de l'INRA de Rennes qui testait pour la première fois, en milieu tropical la faisabilité de la méthode piégeage/appâtage connue jusqu'alors pour des milieux tempérés et particulièrement sur *Rattus norvegicus*.

La capture de 269 rats était obtenue pour l'ensemble de la réserve et une évaluation globale de l'effectif de la population était estimée à 450 individus au regard de la courbe de capture cumulée en fonction du temps. Le premier contrôle d'un succès éventuel de la première opération eu lieu du 21 janvier au 4 février 2001 (cf. *Compte rendu de la mission de contrôle de l'opération d'éradication des populations de R. rattus de la Réserve martiniquaise des îlets de Sainte Anne par Michel Pascal et Olivier Lovelec – INRA – Novembre 2001*). Et à cette occasion, 4 rats furent capturés dont trois sur Hardy et un individu sur Burgaux. L'îlet Poirier ne fut pas visité ni équipé lors de cette période étant donné qu'une importante colonie de Sternes fuligineuses s'y était installée. En 2002, une campagne était organisée pour savoir si l'éradication définitive de la population de rats était atteinte (cf. *Opération de contrôle de l'éradication des rats sur la Réserve Naturelle des Îlets de Sainte-Anne – AOMA-Février 2002*). L'opération prévue pour l'îlet Poirier au départ fut étendue à l'ensemble des îlets. En effet, la présence avérée de rats sur Hardy suite à un contrôle ponctuel en début de mission, révélait la présence de *R.rattus* sur l'îlet Hardy. 216 rats ont été capturés en 2002 sur l'ensemble de la réserve avec une forte disparité dans les lieux de captures : 182 individus sur l'îlet Poirier soit le double (94) de ce qui avait été capturé en 1999 alors que 34 rats étaient capturés sur l'îlet Hardy. Afin d'améliorer le protocole d'éradication des modifications ont été apportées. En sus de la réduction du pas de « maillage » avec la mise en place d'un nombre de pièges plus important, le contrôle des pièges fut effectué plus régulièrement. Au cours de cette dernière deux types d'appâts au principe actif identique (bromadiolone) ont été utilisés : des cubes paraffinés et du maïs concassé. Ce dernier fut le plus efficace et plus souvent consommé.

En 2003, le contrôle a été réalisé en 10 jours, entre le 17 et le 27 février et a suggéré que la population de *Rattus rattus* de la réserve était définitivement éradiquée. Malheureusement les rats étaient à nouveau présents en 2006. En ce qui concerne les dératisations, au fil des années l'effort de capture a augmenté, il est passé au double de 1999 à 2006. Aujourd'hui, la problématique est donc plutôt celle d'une surveillance de la population de rats, et de son contrôle plutôt que son éradication à proprement parler.

¹¹ Repris à partir des différents rapports réalisés (AOMA, Carouge)

VIII.1.2 Contrôle des populations de rats et surveillance

Durant l'opération de contrôle, le contrôle des pièges et le réappâtage sont effectués chaque jour. On utilise ici des tubes en pvc de 10 cm de section contenant du maïs concassé additionné de bromadiolone à partir de 2002. Jusque là, le personnel utilisait des pavés paraffinés également à la bromadiolone. Le but est de déterminer par pesée la quantité éventuellement consommée par le rat lors des visites quotidiennes. Ces tubes sont placés à proximité des ratières et permettent d'augmenter l'efficacité de la dératisation. En laboratoire, il faut 5 jours pour que le poison fasse effet sur le rat et le tue. Durant les opérations de contrôle, le nombre de ratières est assez stable, environ une trentaine. En 2002 et 2007, il y a eu un renforcement du dispositif en cours d'opération passant de 32 ratières à 60 et de 31 à 53 respectivement. Depuis, une surveillance annuelle de la présence de rats est réalisée.

L'effet positif de la dératisation a pu être démontré sur la population du puffin (*Calonectris diomedea*) de l'île Lavezzi (Corse). L'éradication a plus d'efficacité que l'opération de contrôle sur le succès de reproduction de l'espèce avec respectivement 86% et 75% de succès. Un effort plus conséquent avec l'éradication coûte en définitive moins cher que les opérations de contrôle (Pascal, 2005).

Il faut insister sur l'importance de ces opérations de surveillance, car les rats sont capables d'envahir littéralement l'îlet Hardy en l'espace d'une seule saison de reproduction, et sont capables comme on l'a vu en 1999, d'anéantir complètement la reproduction de l'ensemble des oiseaux marins.

VIII.2 Le braconnage et dérangement

En 2007, il semble qu'il y ait eu du braconnage envers les œufs de Noddis bruns et de Sternes bridées. En effet aucune coquille d'œuf n'a été retrouvée au niveau des nids vides, ce qui aurait témoigné d'une prédation animale ou d'une éclosion. Certaines autres années (notamment 2012), l'abandon massif et total de la reproduction des sternes fuligineuses a aussi été attribuée, en tous cas potentiellement, à du braconnage pour les œufs. Le seul moyen de lutte est la surveillance, associée à la communication. Ces problématiques existent pour de nombreuses îles tropicales. Dans le cas de la RNSIA, la présence d'une équipe de gardes au quotidien devrait permettre de limiter à l'avenir ce phénomène.

Par ailleurs nous avons déjà évoqué dans le cas des Puffins la problématique de l'éclairage nocturne, qui affecte aussi possiblement les sternes (c'est, en fait, très probable pour la Sterne fuligineuse) et noddis.

VIII.3 Prédation

La prédation par le Faucon pèlerin a déjà été évoquée pour le Puffin, mais semble encore plus prononcée pour les sternes (surtout la sterne fuligineuse). Le Faucon pèlerin rassemble souvent ses prises en un charnier (Brithmer et Pascal 2001). Il n'y a pas grand-chose à faire contre le faucon pèlerin, qui est une espèce protégée. Il est douteux par ailleurs que ce rapace puisse entraîner la raréfaction ou l'abandon de la reproduction des sternes, en tous cas ce n'est pas mentionné dans la littérature. La prédation est un phénomène spectaculaire qui marque les esprits (notamment lorsque l'on découvre les cadavres). L'effet indirect du prédateur, par le dérangement et la peur panique qu'il peut occasionner, a cependant souvent plus de conséquences que la mortalité directe induite sur la dynamique des populations. Est-il

possible de diminuer le stress dû à la présence du faucon ? Je ne vois pas de moyens particuliers à mettre en œuvre...

VIII.4 Le suivi sur les oiseaux marins (hors Puffin d'Audubon)

VIII.4.1 Suivi (monitoring)

Les éléments de suivis sont déjà suggérés par espèce, dans les rubriques qui les concernent. Globalement, il semble indispensable de réaliser les opérations suivantes :

***Connaissance des effectifs reproducteurs.** Ce travail est à réaliser pour le noddie et la sterne bridée sur l'ensemble des îlets, au moins une fois tous les 5 ans. La méthode à employer est la même que celle qui est proposée pour le suivi annuel et récurrent sur Hardy.

***Suivi annuel des tendances (ou des effectifs) sur Hardy.** Ce travail est à poursuivre pour le phaéton, à reprendre pour les deux sternes et le noddie, à partir du croisement des observations au sol ou de photo aériennes pour déterminer le périmètre des colonies, et de la réalisation d'au moins deux transects pour estimer, à l'intérieur de ce périmètre, la densité des nids. Pour les phaétons, dans l'hypothèse où le programme de baguage est repris, le dénombrement se fera au cours de ces opérations. Pour les deux sternes et le noddie, le repérage au sol doit se faire au moment de l'incubation, ainsi que les transects. La réalisation des transects devrait pouvoir être faite en une seule journée.

***Suivi du succès de la reproduction.** La mesure biométrique des œufs pour les deux sternes et le noddie est fortement recommandée sur un échantillon de nids, 40 pour le noddie et la sterne fuligineuse (au minimum), 20 pour la sterne bridée. Le suivi des Phaétons est lui aussi recommandé, du fait du faible effectif. Ces suivis ne devraient pas excéder un jour par an.

En termes de moyens humains à déployer, ce suivi reste modeste. On peut l'évaluer à environ 10-12 journées de terrain (effectif) pour un binôme. Sur une année à phénologie classique, cela donnerait :

- Décembre ou Janvier: une demi-journée pointage des phaétons, contrôle des pontes, entretien des numéros des nids. Ceci peut être couplé aux opérations de contrôle des populations de rats, qui ont lieu en décembre ou janvier.
- Mars : une journée phaétons, avec contrôle des nids, capture des adultes (si sur poussins), baguage des poussins
- Avril : deux journées pour les transects noddies et sternes, relevé des superficies des colonies, mesure des œufs ; plus une journée phaétons, avec contrôle des nids, capture des adultes (si sur poussins), baguage des poussins
- Mai : une journée pour compléter éventuellement les mesures biométriques sternes et noddies, et refaire un contrôle des nids de phaétons (capture d'adultes et baguage des poussins).

VIII.4.2 Action conservatoires

En dehors de toutes les actions déjà citées (dont le monitoring des colonies), une réflexion pourrait avoir lieu autour d'actions conservatoires plus « proactives ».

Nous avons par exemple déjà évoqué l'installation de nichoirs artificiels pour encourager les Puffins à regagner l'espace perdu dans les galeries, ou la création ou l'entretien d'anfractuosités pour les Phaétons.

Plus ambitieux, il serait possible également d'envisager la recolonisation de la RNSIA par les deux espèces de sternes qui en ont disparu, les sternes de dougall et pierregarin. Ces deux espèces de sternes ont une écologie et un comportement colonial qui sont bien connus, et pour ce qui relève de la sterne de dougall, des expérimentations pour attirer ou maintenir des colonies ont déjà eu lieu dans plusieurs endroits (Écosse, Amérique du Nord). Il s'agit d'utiliser des leurres de sternes pour attirer les oiseaux sauvages. La sterne de dougall notamment fréquente encore régulièrement le site (plusieurs observations en Mai et Juin 2012), il paraîtrait donc possible d'envisager une recolonisation. Mais il semble que celle-ci ne puisse s'envisager qu'à travers une action et l'utilisation de leurres.

IX. BIBLIOGRAPHIE

- AOMA, 2001. Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne ; Suivi des populations sur la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne, année 2000. Parc naturel régional de la Martinique, Robert, 23p.
- AOMA, 2002. Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne ; suivi ornithologique 2001. Parc naturel régional de la Martinique, Robert, 26p.
- AOMA, 2003. Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne ; suivi ornithologique 2002. Parc naturel régional de la Martinique, Robert, 27p.
- AOMA, 2005. Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne ; Suivi ornithologique et contrôle de l'éradication de la population de *Rattus rattus* année 2003. Parc naturel régional de la Martinique, Robert, 26p.
- ASHMOLE, N. P. 1971. Seabird ecology and the marine environment. *Avian Biology* 1, 223-286.
- BENITO-ESPINAL E., et P. HAUCASTEL. 1988. Les oiseaux menacés de Guadeloupe et de Martinique, pp 37-60 in *Livre Rouge des oiseaux menacés des régions françaises d'outre-mer*. Conseil International pour le Protection des Oiseaux (CIPO).
- BIOTOPE, 2001. Plan de Gestion de la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne ; diagnostic du site. Parc naturel régional de la Martinique, Lormont, 57p.
- BLONDEL J., 1995. Biogéographie, approche écologique et évolutive, édition Masson, Paris, 297p.
- BORSA P., PANDOLFI M., ANDREFOUET S., BRETAGNOLLE V. Breeding avifauna of the Chesterfield Islands, coral sea: current population sizes, trends, and threats. **Pacific Science**. 2010, **64**, (2), 297-314
- BRETAGNOLLE, V., C. ATTIE et F. MOUGEOT, 2000. Audubon's Shearwaters *Puffinus lherminieri* on Reunion Island, Indian Ocean: behaviour, census, distribution, biometrics and breeding biology. *Ibis* 142:399-412.
- BRITHMER R. 2002. Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne, suivi ornithologique, année 2001. Association Ornithologique de la Martinique (AOMA) - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, France. 26p.
- BRITHMER R., et M. PASCAL. 2001. Suivi des populations d'oiseaux sur la réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne, année 2000. Association Ornithologique de la Martinique (AOMA) - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, France. 23 p.
- BROOKE, M. de L. 1978. Sexual differences in the voice and individual recognition in the Manx Shearwater (*Puffinus puffinus*). *Anim. Behav.* 26: 622-629.
- BURGER, A.E. & LAWRENCE, A.D. 2001. Census of Wedge-tailed Shearwaters *Puffinus pacificus* and Audubon's Shearwaters *P. lherminieri* on Cousin Island, Seychelles using call- playback. *Marine Ornithology* 29: 57-64.
- CAROUGE, 2005. Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne ; Suivi ornithologique et contrôle de l'éradication de la population de *Rattus rattus* année 2004. Parc naturel régional de la Martinique, Fort de France, 41p.
- CAROUGE, 2006. La Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne, suivi ornithologique 2005. Parc naturel régional de la Martinique, Fort de France, 32p.
- CAROUGE, 2006. La Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne, suivi ornithologique 2006. Parc naturel régional de la Martinique, Fort de France, 27p.
- CAROUGE, 2008. La Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne, suivi ornithologique et campagne de dératisation 2007. Parc naturel régional de la Martinique, Fort de France, 45p.
- DE MERCEY P. & JEREMIE S. 1999. Etude de l'avifaune de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne (Martinique) ; diagnostic écologique et bilan de la nidification 1997,

- 1998 et 1999. Parc naturel régional de la Martinique-GEODE Caraïbe, Fort-de-France, 56p.
- DE MERCEY P. 1997. Inventaire, étude biologique et suivi de l'avifaune de la Réserve Naturelle des îlets de Saint Anne. Rapport intermédiaire. Centre de Recherche Géographie Développement Environnement (GEODE) de la Caraïbe/Université des Antilles et de la Guyane - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, Martinique, France. 21 p.
- DE MERCEY P. 1998. Etude de l'avifaune de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne. Rapport intermédiaire suite au suivi des colonies de sternes de juillet à septembre 1997. Centre de Recherche Géographie Développement Environnement (GEODE) de la Caraïbe/Université des Antilles et de la Guyane - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, Martinique, France. 34 p.
- DE MERCEY P., et S. JÉRÉMIE. 1999. Etude de l'avifaune de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne. Diagnostic écologique et bilan de la nidification 1997, 1998, 1999. Centre de Recherche Géographie Développement Environnement (GEODE) de la Caraïbe/Université des Antilles et de la Guyane - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, Martinique, France. 56 p.
- ERIKSTAD, K. E., Asheim, M., Fauchald, P., Dahlhaug, L. & Tveraa, T. 1997. Adjustment of parental effort in the puffin ; the roles of adult body condition and chick size. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 40, 95-100.
- GOODMAN, D. 1974. Natural selection and a cost ceiling on reproductive effort. *American naturalist* 108, 247-268.
- HARRIS, M. P. 1969. Food as a factor controlling the breeding of *Puffinus lherminieri*. *Ibis* 111:139-156.
- HENRY C., 2001. Biologie des populations animales et végétales, édition Dunod, Paris, 709p.
- JAWAD Abdelkrim, Sarah Samadi et Michel Pascal, 2004. Structuration génétique des populations insulaires allochtones de *Rattus rattus* des îlets de Sainte Anne. Aide à la gestion d'espèces introduites en milieu insulaire, Paris, 26p.
- JÉRÉMIE S. 2003. Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne, suivi ornithologique 2002. Association Ornithologique de la Martinique (AOMA) - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, France. 25p.
- JÉRÉMIE S. 2005. Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne, suivi ornithologique et contrôle de l'éradication de la population de *Rattus rattus*, année 2004. Association le Carouge - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, France, 41 p.
- JÉRÉMIE S., et R. BRITMER. 2005. Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne, suivi ornithologique et contrôle de l'éradication de la population de *Rattus rattus*, année 2003. Association Ornithologique de la Martinique (AOMA) - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, France. 26p
- KEITT, B. S. 1998. Ecology and conservation biology of the Black-vented Shearwater (*Puffinus opisthomelas*) on Natividad Island, Vizcaino Biosphere Reserve, Baja California Sur, Mexico. MS Thesis. University of California at Santa Cruz.
- LEE, D. S. 1996. Sex, seabirds and cyclones: the benefits of planned parenthood. *El Pitirre* 10:30 (abstract).
- LEE, D. S. 2000. Status and Conservation priorities for Audubon's Shearwaters in the West Indies. Pages 25-39 In E. A. Schreiber and D. S. Lee (eds) Status and Conservation of West Indian Seabirds. Society of Caribbean Ornithology, Special Publication Number 1.225 pp.

- LEE, D. S. and Clark, M. K. 1994. Seabirds of the Bahamas Land and Sea Park. *Bahamas Journal of Science* 2:2-9.
- LEIGH S.BULL, 2006. Influence of migratory behavior on the morphology and breeding biology of *Puffinus shearwaters* [en ligne].thèse. Nouvelle Zélande: Université Victoria de Wellington. *Marine Ornithology* 34: 25–31. Disponible sur :< > (consulté le 06.01.2009)
- LEMOINE, V., and L. DUBIEF. Sous presse. Martinique's Island. In *Important Bird Areas in the Carribean*. Birdlife Conservation series, BirdLife International, Cambridge, UK.
- LEMOINE, V., L. DUBIEF, and V. GENESSEAU. 2008. Martinique's Island. In *Breeding Seabirds of the Caribbean, An Inventory*. (P. E. Bradley and R. L. Norton, eds.). University of Florida Press, Gainesville, Florida, USA.
- LEVESQUE, 2005. Les oiseaux marins migrateurs de l'est de l'archipel guadeloupéen, Guadeloupe, 59p.
- LUREL F., Cartographie de la végétation 2^{ième} phase Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne, Martinique, 35p.
- MOUGEOT, F. & BRETAGNOLLE, V. 2000. Predation risk and moonlight avoidance in nocturnal seabirds. **J. Avian Biol.** 31 : 376-386.
- MARTIN, J.-L., THIBAUT, J.-C. & BRETAGNOLLE, V. 2000. Black rats, island characteristics and colonial birds in the Mediterranean: current consequences of an ancient introduction. **Conservation Biology** 14 : 1452-1466.
- MURPHY, R. C. 1936. *Oceanic Birds of South America*. (2 vols.) The American Museum of Natural History, New York. 1245pp.
- ODUM E. P., 1983. *Basic ecology*. Holt-Saunders International Editions, Philadelphia.
- PALMER, R. S. (ed.) 1962. *Handbook of North American Birds, Vol.1: Loons Through Flamingos*. New Haven: Yale Univ. Press. pp. 200-202.
- PANDOLFI BENOIT, M. & BRETAGNOLLE, V. 2002. Seabirds of the southern lagoon of New Caledonia: distribution, abundance, breeding biology and threats. **Waterbirds** 25 : 202-213.
- PASCAL M. 1998. Compte rendu d'expertise sur l'opportunité et les modalités d'une éventuelle éradication des populations de *Rattus rattus* des îlets de la Réserve Naturelle de Sainte-Anne (île de la Martinique). Institut National de Recherches Agronomiques (INRA) de Rennes - Direction Régionale de l'Environnement (DIREN) Martinique – Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort-de-France, France. 15p.
- PASCAL M., 2005. Improving the breeding success of a colonial seabird facing rat predation: a cost-benefit comparison between eradication and control. *Biological conservation*.
- PASCAL M., R. BRITHMER, O. LORVELEC, et N. VENUMIERE. 2004. Conséquences sur l'avifaune nicheuse de la réserve naturelle des Îlets de Sainte-Anne (Martinique) de la récente invasion du rat noir (*Rattus rattus*), établies à l'issue d'une tentative d'éradication. *Revue d'écologie*. 59 (1-2) : 309-318.
- PASCAL M., LORVELEC O., BRETAGNOLLE V., CULIOLI J.M. Improving the breeding success of a colonial seabird: a cost-benefit comparison of the eradication and control of its rat predator. **Endangered Species Research**. 2008, **4**, 267–276
- PINCHON R. 1976. Faune des Antilles françaises. Les Oiseaux. Fort de France, France. 326 p.
- PINCHON R., et M. BON SAINT-CÔME. 1951. Notes et Observations sur les oiseaux des Antilles Françaises. L'oiseau et la Revue Française d'Ornithologie, 21(4) : 229-277.
- RAIGNÉ S. 2006a. Suivi ornithologique 2005, Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne. Association le Carouge - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, France, 32p

- RAIGNÉ S. 2006b. Suivi ornithologique 2006, Réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne Association le Carouge - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, France, 27p
- RAIGNÉ S. 2006c. Compte-rendu de la dératisation 2006. Association le Carouge - Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM), Fort de France, France, 15p
- ROBINET, O., SIRGOUANT, S. and BRETAGNOLLE, V. 1997. Marine birds of D'Entrecasteaux Reefs. **Colonial Waterbirds** 20: 282-290.
- ROFF D. A., 1992. *The evolution of life histories. Theory and analysis*. Chapman & Hall, New York.
- SCHREIBER E.A., and D.S. LEE. 2000. Status and Conservation of West Indian Seabirds. Schreiber and Lee Eds. Society of Caribbean Ornithology, Special Publication N°1. 225 p.
- SNOW, D. W. 1965. The breeding of Audubon's Shearwater (*Puffinus lherminieri*) in the Galapagos. *Auk* 82:591-597.
- STEARNS S. C., 1992. *The evolution of life histories*. Oxford University Press, Oxford.
- TAOKA, M., Tetsu, S., Tsutomu, K. and Okumura, H. 1989. Sexual dimorphism of chatter-calls and vocal sex recognition in Leach's Storm-petrels (*Oceanodroma leucorhoa*). *The Auk*. 106:498-501.
- TRIMM, N.A. 2001. Ecology of Audubon's Shearwaters (*Puffinus lherminieri*) at San Salvador, Bahamas. MS thesis, Loma Linda University.
- TRIMM, N.A. 2004. Behavioral Ecology of Audubon's Shearwaters at San Salvador, Bahamas. Diss. Loma Linda University.
- VAN HALEWYN, R. et R. Norton, 1984. The status and conservation of seabirds in the Caribbean. Pp. 169-222. In J. P. Croxall, P. G. Evans and R. W. Schreiber (eds). Status and Conservation of the World's Seabirds. ICBP Tech. Publ., No. 2. 778 p.
- VILLARD P., BRETAGNOLLE V. Breeding biology of the bridled tern (*Sterna anaethetus*) in New Caledonia. **Waterbirds**. 2010, **33**, (2), 246-250
- WARHAM, J. 1990. The Petrels. Their Ecology and Breeding Systems. London: Academic Press.

X. ANNEXES

X.1 Annexe1

Liste des documents consultés (disponibles)

- *Rapport intermédiaire suite au suivi des colonies de sternes de juillet à septembre 1997. 1998. P. De Mercey
- *Diagnostic écologique et bilan de la nidification 1997, 1998 et 1999. 1999. Pierre de Mercy & Stéphane Jeremy
- *Impact des rats sur les populations d'oiseaux de la réserve naturelle des ilets de saint anne. 1999. Stéphane Jeremy
- *Suivi des populations d'oiseaux sur la réserve naturelle des ilets de sainte-anne en 2000. 2001. AOMA
- *Suivi ornithologique 2001. 2002. AOMA
- *Suivi ornithologique et contrôle de l'éradication de la population de *Rattus rattus*. Année 2003. 2005. AOMA
- * Suivi ornithologique en 2004. Carouge
- * Suivi ornithologique 2005. Carouge
- * Suivi ornithologique 2006 Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne. Carouge
- * Suivi ornithologique 2007 Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne. Carouge

X.2 Annexe 2

Protocole pour le suivi scientifique de la reproduction des Puffins d'Audubon (de Mercey et Jérémie, 1999)

A) Protocole de suivi de la survie des œufs des Puffins d'Audubon de l'îlet Hardy (1999)

Ce protocole fut établi avec les conseils de V. Bretagnolle, chercheur CNRS au laboratoire du CEBC, spécialiste des Procellariidae (famille des Puffins).

Il s'agit d'estimer le taux de survie des œufs des Puffins d'Audubon (*Puffinus lherminieri*) pondus dans la colonie de l'îlet Hardy. La comparaison de la valeur de ce paramètre avant et après l'éradication des rats permettra de mesurer l'impact des rats sur cette colonie.

Il s'agit d'une opération très délicate car les Puffins sont en période d'incubation, très sensibles aux dérangements. Ce travail doit être réalisé par un seul ornithologue. Il s'agit de vérifier sur un échantillon suffisant de nids, la présence d'un œuf seul ou d'un adulte en train de couvrir un œuf.

L'emplacement des nids dans la colonie est déjà suite aux opérations des années précédentes. L'opérateur entrera seulement dans les salles d'accès relativement aisé, en se reportant au plan des cavités joint. Il s'agit des salles numéro 2, 3, 4 et 5, ainsi que des salles 11 et 12. Les nids situés à l'extérieur du réseau de galeries plus au nord sur l'îlet, pourront aussi être inspectés (nids numéros 13, 18 et 19 où la croissance des poussins avait été suivie deux fois par semaine en 1998). Les salles 7 et 6 pourront être inspectées si cela n'induit pas un dérangement des oiseaux couvant dans les salles 2 et 5.

Le but est de vérifier environ une trentaine de nids. Si des nouveaux nids faciles d'accès sont découverts, ils peuvent être inclus dans l'échantillon. Vingt nids peuvent suffire.

Le gardien pénètre dans la cavité en évitant d'éblouir les adultes sur leur nid avec sa lampe frontale. Il reste à distance des oiseaux (un mètre) et avec une baguette, soulève délicatement les plumes du bas ventre de l'oiseau pour vérifier la présence d'un œuf sous son corps. Une lampe-stylo attachée à l'extrémité d'une baguette et n'éclairant que le ventre de l'oiseau est conseillée. Il conviendra d'éteindre la lampe frontale et toujours éviter d'éclairer la face de l'oiseau. Il suffit donc de vérifier ainsi, la présence d'un œuf dans chaque nid et de le noter. La position des nids peut être reportée ensuite sur la carte de la cavité avec le numéro du nid.

Périodicité : une visite par mois. Cela fera donc probablement en tout trois visites pendant la période d'incubation. La première visite doit être effectuée dès la première semaine de février. A cette date, en 1998, la moitié des œufs avait déjà été pondus.

B) Observations en vue de la connaissance des comportements des Puffins d'Audubon avant la période de ponte et d'incubation.

Les Puffins et les Pétrels (famille des Procellariidés) sont connus pour visiter leurs colonies parfois longtemps avant la ponte. Ils retrouvent à ce moment leur partenaire de l'année précédente et défendent l'emplacement de leur nid. Les partenaires de chaque couple passent alors de longs moments ensemble au nid, pendant lesquels ils chantent en duo, ils se toilettent mutuellement et finissent par s'accoupler. Les deux partenaires repartent ensuite en mer environ quinze jours pendant lesquels ils reconstituent leurs réserves énergétiques et la femelle élabore l'œuf. Le mâle retourne pendant cette période de temps en temps à la colonie pour réaffirmer ses droits de propriété sur son nid. Au retour de cette « lune de miel », la femelle pond son œuf et le mâle assure le premier tour d'incubation pendant environ une semaine. Puis les deux partenaires se relaient pour incuber l'œuf jusqu'à l'éclosion.

Les observations de traces de Puffins à l'entrée des cavités ainsi que le tarse de Puffin rongé par les rats lors de l'éventualité du plan d'éradication de la faune exogène, en novembre 1998, vont dans le sens d'une fréquentation de la colonie plusieurs semaines avant la ponte.

Par contre, nous ne savons toujours pas à quel moment les Puffins reviennent sur l'îlet Hardy ni pendant combien de temps. De même, la durée de la « lune de miel » en mer avant la ponte demeure inconnue à l'heure actuelle.

Il s'agira, par conséquent de collecter un certain nombre d'informations manquantes en induisant un dérangement minimal des oiseaux pendant cette période.

C) Méthode de comptage hebdomadaire à l'entrée des cavités

Le suivi de la période précédent la ponte se fera à travers des sorties hebdomadaires réalisées par deux à trois personnes. Un responsable assurera la totalité des sorties, avec l'aide d'autres personnes qui pourront se relayer. Le responsable remplira également les bordereaux pour cette manœuvre.

Chaque sortie se déroulera en deux à trois phases successives. Il faudra arriver sur l'îlet Hardy environ une heure avant le coucher du soleil.

Lors de l'application de ce présent protocole de suivi de la population des Puffins d'Audubon, il sera aussi commode d'allier certaines observations, pour d'autres espèces comme cela est décrit ci-dessous.

1) Prospection de l'ensemble de l'îlet pour compter les Quiscales. Chaque personne suivra un parcours régulier distinct pour assurer la couverture visuelle totale de l'îlet. Les observateurs se rejoindront au niveau des cavités, et les personnes arrivées en premier profiteront pour observer les autres îlets et pour rechercher des oiseaux au large.

2) Tour rapide des différentes entrées du réseau de galeries de jour pour rechercher des Phaétons au nid. Ne pas rentrer dans les cavités pour capturer sauf pour capturer le Phaéton adulte si nécessaire. Vérifier l'identité du Phaéton adulte : le baguer s'il se trouve sur un poussin. Faire une marque caractéristique mais assez discrète sur son plumage avec de l'acide picrique (ou un marquer indélébile) pour pouvoir reconnaître par la suite chaque individu sur son nid sans avoir à le manipuler.

3) Comptage des Puffins à leur arrivée à la colonie. Commencer le comptage environ un quart d'heure avant la tombée de la nuit et encore pendant une demi-heure après la tombée de la nuit. La durée totale du comptage doit durer trois quart d'heure ou une demi-heure minimum. La première fois, compter pendant une heure pour s'assurer que le maximum d'oiseaux arrive bien pendant la période visée. Chaque personne se place à côté d'une entrée de façon à ne pas gêner l'oiseau à son arrivée. Compter à chaque fois à l'entrée 4. Les autres entrées peuvent changer et sont facultatives. Ne pas éclairer à l'intérieur des cavités pendant cette période sensible avant la ponte.

4) Comptage du nombre de chants de Puffins à la minute. Il s'agit de compter le nombre de chants entendus pendant une minute, en séparant si possible les chants émis en vol de ceux émis en terre. Pour cela, il faudra se placer toujours au même endroit. Devant l'entrée 4 semble être un bon emplacement. Ces comptages doivent être effectués toutes les dix minutes. Il faut faire ces comptages pendant une heure, en incluant la période où l'activité de chant est maximale. A la Réunion, cela se situe entre 70 et 100 minutes après le coucher du soleil. Mais cela doit être plus tôt sur l'îlet Hardy car les oiseaux arrivent directement de la mer tandis qu'à la Réunion, les colonies sont en montagne. Ce sont les comptages effectués les nuits sans lune qui seront utilisés pour comparer avec ceux réalisés dans l'océan Indien par V. Bretagnolle & co.

5) Prospection nocturne de l'îlet à la recherche de cavités et de terriers occupés par les Puffins. Cette prospection doit se faire lors des nuits sans lune. Il s'agit de vérifier tous les trous en écoutant à leur entrée (sans éclairer à l'intérieur) et de marcher sur l'ensemble de l'îlet

(surtout au niveau des cavités et sur la côte Atlantique) pour détecter à l'oreille de nouveaux trous occupés que nous n'aurions pas encore remarqués. C'est une partie à réaliser une fois par mois.

Les parties 4 et 5 sont optionnelles mais très intéressantes. La partie 4 doit être faite avec rigueur, si elle est faite.

Enfin, il serait très important d'enregistrer des chants lors d'une sortie à propos des Puffins. Les analyses génétiques réalisées sur les échantillons de sang prélevés en 1998, nous aiguilla sur la piste taxonomique de l'espèce, après nous avoir révélé des résultats intéressants qui permettraient par comparaison à l'enregistrement des chants qui devraient aboutir à la révision complète du statut taxonomique du Puffin d'Audubon *Puffinus lherminieri* et du Puffin semblable *Puffinus assimilis*. Il serait bien pour cela d'enregistrer en définitive d'une part des oiseaux en vol et de l'autre des oiseaux posés. Pour cela un micro pourrait être introduit dans la salle 11 au bout d'une perche par l'entrée 1b.

X.3 Annexe 3

Protocole de suivi des populations du puffin d'Audubon de la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne (Nicolas, Martail, Mian, Brithmer et Vénumière, 2000, document non publié).

Ce protocole a pour but d'acquérir des données sur la biologie des populations d'oiseaux nichant sur la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne. L'essentiel des observations sera réalisé sur l'îlet Hardy pour des raisons de commodité d'accès et en raison de l'importance des colonies reproductrices qu'il héberge.

Le Puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*)

Le Puffin d'Audubon niche essentiellement dans le réseau de galeries de l'îlet. Afin d'estimer le succès reproducteur du Puffin d'Audubon, une vingtaine de nids sera suivie dans les salles 2, 3, 4, 5, 11 et 12 (voir schéma des galeries) du réseau de galeries qui seront visitées tous les 15 jours de janvier à juillet. Ces nids seront identifiés par un numéro et positionnés sur la carte du réseau de galeries de l'îlet Hardy.

L'équipe de 2 à 3 personnes devra pénétrer à l'intérieur des galeries sans éblouir les adultes sur leur nid en restant à distance d'un mètre. A l'aide d'une baguette, on soulève délicatement les plumes du bas ventre pour vérifier la présence d'un œuf sous le corps.

A l'occasion de chaque visite, la présence de prospecteurs, de nicheurs, d'œufs, de poussins et l'état d'avancement du développement de chaque poussin seront notés permettant d'établir la chronologie des différentes étapes du cycle de reproduction de la population (estimation de la durée de couvain, dates d'éclosion et d'envol des petits, ...).

Une attention particulière devra être portée pour limiter le dérangement des oiseaux au strict nécessaire, les puffins étant très sensibles aux dérangements en période d'incubation.

La présence de cadavres devra être notée à l'occasion de chaque visite afin d'estimer la prédation exercée sur les puffins.

L'opération de baguage des puffins devra se dérouler courant mai sur les îlets Percé et Burgaux pour la première nuit et Hardy pour la deuxième nuit, les séances de capture devant être le plus que possible rapprochées dans le temps.

Les captures au filet seront effectuées lors de la sortie de la colonie des galeries à l'aube, et non à leur arrivée, pour éviter de leur faire régurgiter la nourriture apportée au jeune.

Les bagueurs devront procéder à la pose de la bague (si l'individu n'est pas déjà bagué) et aux mesures biométriques suivantes : bec, tarse, aile pliée et poids. Ces mesures biométriques permettent de caractériser les populations de Puffins et pourront aider, d'une part à mieux comprendre leur mode de fonctionnement, à travers des comparaisons avec des populations d'autres régions et d'autre part à estimer le nombre d'individus de la colonie de l'îlet Hardy et l'équilibre de cette population.

Ces deux opérations nocturnes seront précédées dans la même période de l'année d'une visite de tout le réseau de galeries de l'îlet Hardy afin de procéder au baguage systématique de tous les poussins accessibles.

X.4 Annexe 4

Récapitulatif des suivis des nids de puffin d'Audubon de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne effectués de 2000 à 2006 (2007 est présenté sous une autre forme, hors tableau).

	%A+p	% A + w	% A + j	% A présents	% w présents	% p présents	% j présents	% non présents, disparu ou envolé	% non contrôlés	% mort	% TF	total
17/02/00	0	0	0	0	83	0	0	17	0	0	0	100
23/03/00	0	0	0	0	43	22	0	35	0	0	0	100
27/04/00	0	0	0	0	0	52	0	47	0	0	0	99
11/05/00	0	0	0	0	0	57	4	39	0	0	0	100
08/06/00	0	0	0	0	4	4	43	48	0	0	0	100
05/07/00	0	0	0	0	0	4	4	91	0	0	0	100
20/07/00	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
12/01/01	0	0	0	5	0	0	0	95	0	0	0	100
26/01/01	0	0	0	0	5	0	0	95	0	0	0	100
14/02/01	0	0	0	5	80	0	0	15	0	0	0	100
02/03/01	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
08/03/01 *	0	0	0	0	10	0	0	0	90	0	0	100
16/03/01	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
20/03/01*	0	0	0	0	5	10	0	0	85	0	0	100
30/03/01	0	0	0	0	45	50	0	5	0	0	0	100
18/04/01	0	0	0	10	0	55	0	35	0	0	0	100
11/05/01	0	0	0	0	0	95	0	5	0	0	0	100
25/05/01	0	0	0	0	0	0	75	20	0	5	0	100
07/06/01	0	0	0	0	0	0	60	40	0	0	0	100
08/03/02	0	0	0	75	0	0	0	25	0	0	0	100
16/03/02*	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	100
21/03/02	0	0	0	83	0	4	0	13	0	0	0	101
27/03/02	0	0	0	17	58	21	0	4	0	0	0	100
05/04/02*	0	0	0	0	0	0	0	83	17	0	0	100
12/04/02	0	0	0	0	0	75	0	25	0	0	0	100
26/04/02	0	0	0	0	0	92	0	8	0	0	0	100
02/05/02	0	0	0	0	0	0	0	88	13	0	0	100

11/05/02	0	0	0	0	0	58	0	42	0	0	0	100
17/05/02	0	0	0	0	0	0	0	92	8	0	0	100
24/05/02	0	0	0	0	0	0	0	92	8	0	0	100
30/05/02	0	0	0	0	0	54	17	29	0	0	0	100
12/06/02	0	0	0	0	0	0	42	58	0	0	0	100
21/06/02	0	0	0	0	0	0	0	92	8	0	0	100
27/06/02	0	0	0	0	0	0	0	92	8	0	0	100
11/07/02	0	0	0	0	0	0	13	87	0	0	0	100
17/07/02	0	0	0	0	0	0	0	92	8	0	0	100
25/07/02	0	0	0	0	0	0	0	92	8	0	0	100
15/04/03	0	0	0	0	10,60	89,47	0	0	0	0	0	100
05/06/03	0	0	0	0	0	0	26,32	73,68	0	0	0	100
14/06/03	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
04/07/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
18/07/03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
01/08/03	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
19/01/04	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
06/02/04	0	65	0	0	0	0	0	35	0	0	0	100
27/02/04	0	20	0	65	10	0	0	5	0	0	0	100
19/03/04	10	5	0	45	0	10	0	30	0	0	0	100
07/04/04	5	10	0	0	5	55	0	25	0	0	0	100
22/04/04	0	5	0	0	0	75	0	20	0	0	0	100
01/05/04	0	0	0	0	5	80	0	15	0	0	0	100
16/05/04	0	0	0	0	0	0	65	35	0	0	0	100
29/05/04	0	0	0	0	0	0	45	55	0	0	0	100
16/06/04	0	0	0	0	0	0	15	85	0	0	0	100
17/07/04	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
17/01/05	0	0	0	8	0	0	0	92	0	0	0	100
11/02/05	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
13/03/05	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
26/05/05	0	0	0	0	0	8	58	33	0	0	0	100
09/06/05	0	0	0	0	0	8	50	42	0	0	0	100
01/07/05	0	0	0	0	0	0	50	50	0	0	0	100

21/07/05	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
05/01/06	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
14/01/06	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	100
26/01/06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
10/02/06	0	0	0	75	0	0	0	25	0	0	0	100
23/02/06	0	0	0	91,67	0	0	0	8,33	0	0	0	100
11/03/06	16,67	0	0	83,33	0	0	0	0	0	0	0	100
20/04/06	0	0	0	0	0	66,67	0	33,33	0	0	0	100
18/05/06	0	0	8,33	0	0	75	16,67	0	0	0	0	100
04/06/06	0	0	0	0	0	0	83,33	16,67	0	0	0	100
17/06/06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100
06/07/06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100

* : jours où les contrôles ont été réduits. Il s'agissait d'estimer la durée de couvain.

Date	Observations	Salles						S11	S12			
		S2	S3	S4	S5	S7	S11				S12	
13/01/2007				2a								
03/02/2007		1a		5a				1a	7a			
10/03/2007	5o-5a hors transect (S4)	1o-1a	2o-2a	3o-2a				1o-1a	5o-1p-6a			
31/03/2007	2 crabes zombi (S5)	1p-2j	2p	2o-4p-2a				2p	2p			
07/04/2007	1 crabe zombi (S7)											

a :adulte
o :œuf
p : poussin

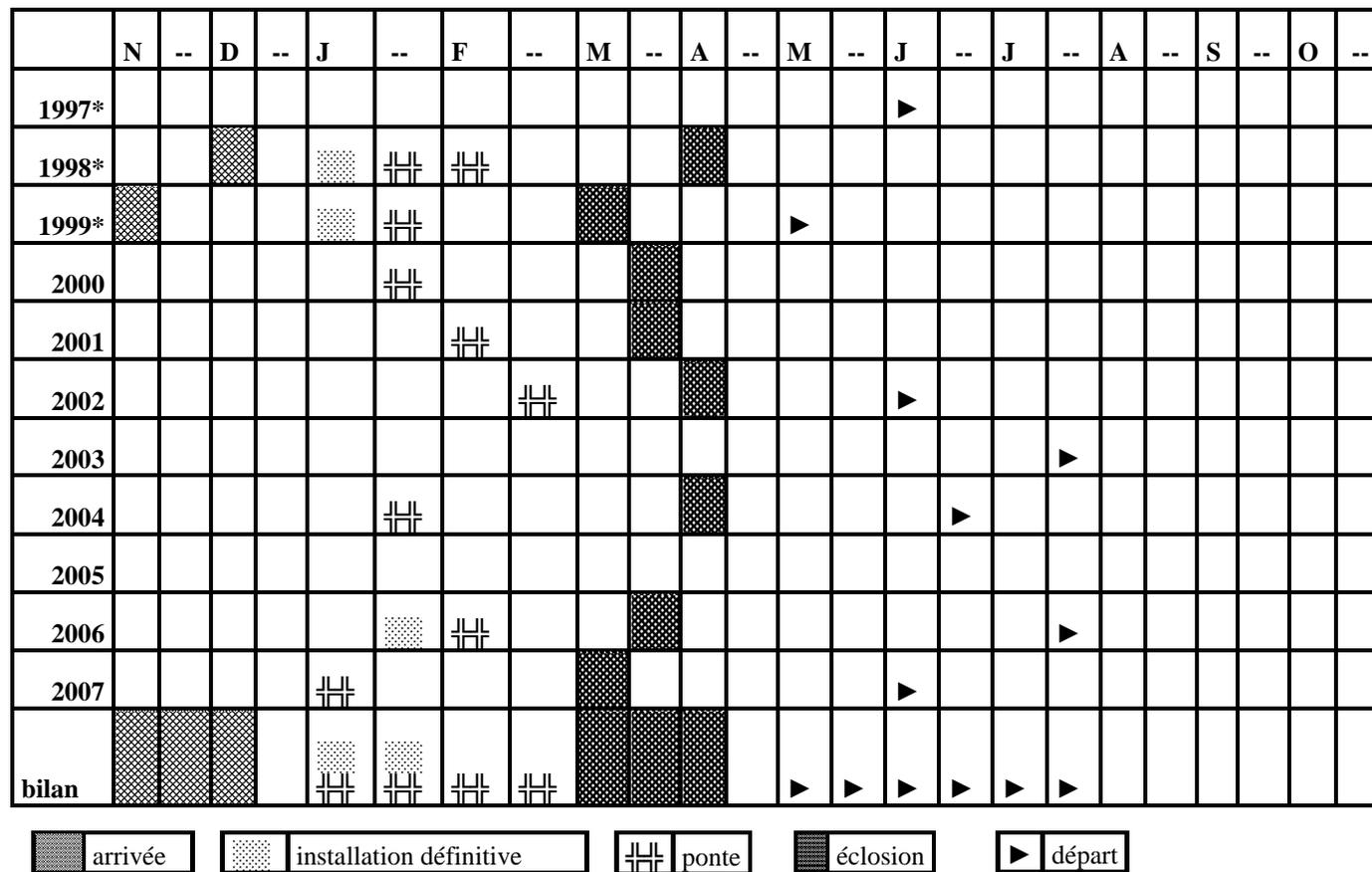
X.5 Annexe 5

Nombre de captures de puffins d'Audubon sur l'îlet Hardy, tous types de baguage confondus (bague au filet, baguage au nid).

nb de captures/mois selon les années	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	novembre	décembre	total
1995				92		24				116
1996					160					160
1997					63					63
1998		9	28		192		1	1		231
1999	1									1
2000					59				1	60
2001	2		2		159					163
2002				1	163					164
2003					157					157
2004				2	184					186
2005	1			3	132					136
2006					143					143
2007					98					98
2008					86					86
2009					53					53
2010					75					75
2011					96					96
2012	64			58		89				211
total	68	9	30	156	1820	113	1	1	1	2199
%	3.09	0.41	1.36	7.09	82.76	5.14	0.05	0.05	0.05	100

X.6 Annexe 6

Détail par année (1997 à 2007) des données permettant de retracer la phénologie de reproduction du puffin d'Audubon de la RNNISA.



* : données extraites (de Mercey, Jérémie, 1999).

X.7 Annexe 7

Modèles de CMR avec données PUL

Model	AICc	Delta AICc	AICc Weight	Model Likelihood	Num . Par	Deviance
{phi1-2(.)phi3+(.)p1(.)p2+(linéaire)p(99=0)}	666.91	0.00	0.18	1.00	5	251.04
{phi1(.)phi2+(.)p1(0)p2(linéaire)p(99=0)}	666.91	0.00	0.18	1.00	5	251.04
{phi1-2(.)phi3(.)phi4+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.11	1.20	0.10	0.55	6	250.19
{phi1-3(.)phi4+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.72	1.81	0.07	0.40	5	252.85
{phi1(.)phi2-6(.)phi7+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.89	1.99	0.06	0.37	6	250.97
{phi1(.)phi2-5(.)phi6+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.95	2.04	0.06	0.36	6	251.03
{phi1(.)phi2-4(.)phi5+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.96	2.05	0.06	0.36	6	251.04
{phi1(.)phi2-3(.)phi4+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.96	2.06	0.06	0.36	6	251.04
{phi1(.)phi2(.)phi3+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	668.96	2.06	0.06	0.36	6	251.04
{phi1(.)phi2(.)phi3+(.)p1(0)p2(linéaire)p(99=0)}	668.96	2.06	0.06	0.36	6	251.04
{phi1-2(.)phi3-6(.)phi7+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	670.12	3.21	0.04	0.20	7	250.13
{phi1(.)phi2+(linéaire)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	670.89	3.98	0.02	0.14	7	250.90
{phi1(.)phi2(.)phi3(.)phi4+(.)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	671.03	4.12	0.02	0.13	7	251.04
{phi1(.)phi2(.)phi3(.)phi4+(.)p1(0)p2(.)p3(.)p4+(.)p99(0)}	672.02	5.11	0.01	0.08	9	247.86
{phi1(.)phi2(.)phi3+(.)p1(.)p2(.)p3+(.)p(99=0)}	674.74	7.83	0.00	0.02	7	254.75
{phi1(.)phi2(.)phi3+(.)p1(0)p2(.)p3+(.)p(99=0)}	674.74	7.83	0.00	0.02	7	254.75
{phi1(.)phi2(.)phi3+(.)p1(.)p2(.)p3+(.)}	676.50	9.60	0.00	0.01	6	258.58
{phi1-2(.)phi3+(.)p1(0)p2+(.)}	677.97	11.07	0.00	0.00	4	264.15
{phi1(.)phi2+(.)p(linéaire)p(99=0)}	687.24	20.34	0.00	0.00	4	273.42
{phi1(.)phi2+(t)p1(.)p2+(linéaire)p(99=0)}	688.18	21.28	0.00	0.00	20	240.40
{phi1(.)phi2+(linéaire)p(linéaire)p(99=0)}	688.79	21.89	0.00	0.00	5	272.93
{phi(a2*t)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	708.80	41.89	0.00	0.00	36	224.29
{phi(a2+t)p(t)p(99=0)}	715.72	48.82	0.00	0.00	34	235.97
{phi(a2*t)p(linéaire)p(99=0)}	730.35	63.44	0.00	0.00	35	248.23
{phi(a2*t)p(quadratique)p(99=0)}	732.72	65.81	0.00	0.00	36	248.22
{phi(a2*t)p(conformité)p(99=0)}	740.63	73.73	0.00	0.00	35	258.51
{phi(a2*t)p(.)p(99=0)}	744.79	77.88	0.00	0.00	34	265.04
{phi(a2*t)p(effort)p(99=0)}	745.22	78.31	0.00	0.00	35	263.10
{phi(a2*t)p(effortnbjour)p(99=0)}	746.68	79.77	0.00	0.00	35	264.56
{phi(a2*t)p(t)p(99=0)}	750.03	83.12	0.00	0.00	49	233.41
{phi(a2*t)p(a2*t)}	774.07	107.17	0.00	0.00	66	211.98

Déf : AIC : critères d'information Akaike ; déviance+2fois nb paramètres,

X.8 Annexe 8

Test LRT des modèles de taux de capture.

Reduced Model	General Model	Chi-sq.	df	Prob.
{phi(a2*t)p(linéaire)p(99=0)}	{phi(a2*t)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	23.933	1	<.0001
{phi(a2*t)p(conformité)p(99=0)}	{phi(a2*t)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	34.219	1	<.0001
{phi(a2*t)p(.)p(99=0)}	{phi(a2*t)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	40.745	2	<.0001
{phi(a2*t)p(effortnbjour)p(99=0)}	{phi(a2*t)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	40.266	1	<.0001
{phi(a2*t)p1(0)p2+(linéaire)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(a2*t)}	12.31	30	0.9982
{phi(a2*t)p(linéaire)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(quadratique)p(99=0)}	0.011	1	0.9149
{phi(a2*t)p(.)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(linéaire)p(99=0)}	16.812	1	<.0001
{phi(a2*t)p(linéaire)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(t)p(99=0)}	14.822	14	0.3904
{phi(a2*t)p(linéaire)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(a2*t)}	36.244	31	0.2372
{phi(a2*t)p(conformité)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(quadratique)p(99=0)}	10.297	1	0.0013
{phi(a2*t)p(.)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(quadratique)p(99=0)}	16.823	2	0.0002
{phi(a2*t)p(effortnbjour)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(quadratique)p(99=0)}	16.344	1	0.0001
{phi(a2*t)p(quadratique)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(t)p(99=0)}	14.811	13	0.3193
{phi(a2*t)p(quadratique)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(a2*t)}	36.232	30	0.2006
{phi(a2*t)p(.)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(conformité)p(99=0)}	6.526	1	0.0106
{phi(a2*t)p(conformité)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(t)p(99=0)}	25.108	14	0.0335
{phi(a2*t)p(conformité)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(a2*t)}	46.53	31	0.0362
{phi(a2*t)p(.)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(effortnbjour)}	0.479	1	0.4887
{phi(a2*t)p(.)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(t)p(99=0)}	31.634	15	0.0072
{phi(a2*t)p(.)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(a2*t)}	53.055	32	0.0111
{phi(a2*t)p(effortnbjour)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(t)p(99=0)}	31.154	14	0.0053
{phi(a2*t)p(effortnbjour)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(a2*t)}	52.576	31	0.0091
{phi(a2*t)p(t)p(99=0)}	{phi(a2*t)p(a2*t)}	21.422	17	0.208

test LRT : test ratio de vraisemblance suit une distribution χ^2 .

X.9 Annexe 9

Paramètres bêta du modèle {phi1-2(.)phi3+(.)p1(.)p2+(linéaire)p(99=0)}

LOGIT Link Function Parameters of {phi1-2(.)phi3+(.)p1(.)p2+(linéaire)p(99=0)}
95% Confidence Interval

Parameter	Beta	Standard Error	Lower	Upper
1:	-0.0498027	0.1717179	-0.3863699	0.2867645
2:	1.7658060	0.2815576	1.2139531	2.3176588
3:	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
4:	-3.1209493	0.6268541	-4.3495834	-1.8923152
5:	0.1570323	0.0535256	0.0521221	0.2619425