



MASTER PROFESSIONNEL EN SCIENCES ET TECHNOLOGIES

BIODIVERSITÉ TROPICALE

Spécialité : Écosystèmes naturels et exploités

**ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE POPULATION DU PUFFIN
D'AUDUBON (*Puffinus lherminieri*) DE LA RESERVE
NATURELLE DES ILETS DE SAINTE-ANNE**

Carine PRECHEUR



Responsable de stage : Nadine VENUMIERE
Tuteur de stage : Dominique MONTI

Service « protection de la nature et des paysages » du Parc Naturel Régional de la Martinique
(PNRM)

Domaine de Tivoli BP 437 97205 FORT DE FRANCE
msp-pnrm@wanadoo.fr

Soutenu le 26/06/09

ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE POPULATION DU PUFFIN D'AUDUBON
(*PUFFINUS LHERMINIERI*) DE LA RESERVE NATURELLE DES ILETS DE SAINTE-
ANNE

Carine PRECHEUR

Université des Antilles et de la Guyane, 97 164 Pointe à Pitre, Guadeloupe.

E-mail : carine.precheur@hotmail.fr

Résumé. L'étude de la dynamique de la population du puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri lherminieri*) de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne a permis d'affiner les connaissances sur les dynamiques temporelle et spatiale de l'espèce grâce au traitement des données de baguage s'étalant de 1995 à 2007 et à la synthèse des suivis ornithologiques effectués de 1997 à 2007 sur le site. Le succès de la reproduction moyen de 1997 à 2007 est de 70% en excluant 1999, année pendant laquelle la prédation des rats a causé un échec total de la reproduction de l'oiseau. Le modèle décrivant le mieux la population du puffin d'Audubon de 1995 à 2007 est le modèle où la survie et la recapture sont dépendantes du temps. Le taux de survie est de 0,77 et le taux de recapture est plutôt faible sur cette période (0,3). De 1995 à 2007 (à l'exception de 1997, 1999, 2000), 71,12% des individus bagués ne sont jamais recapturés. Une majorité des individus recapturés est contrôlée au bout de trois ans. En moyenne, le taux de recapture par année est de 37,37% (en omettant la première année de baguage). Le renouvellement de la population est de 0,63. Les individus recapturés les plus âgés ont 11 (bagué en 1996) et 12 ans (bagué en 1995). Ils ont été bagués au stade poussin. 6% des poussins bagués de 1995 à 2006 ont été recapturés par la suite. Un retour au bout de 2 à 3 ans est observé chez 38% des oiseaux bagués au stade poussin et cela concernait en majorité les individus bagués en 2003 et 2004.

La mise en place de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne a permis de protéger l'habitat de reproduction de cette espèce menacée. La dératisation mise en place dès 1999, a contribué au maintien du succès de reproduction à un niveau correct. La population de puffins d'Audubon des Antilles est considérée comme menacée et la préservation de son habitat est un important enjeu écologique.

Mots clés : réserve naturelle de îlets de Sainte-Anne, puffin d'Audubon, *Puffinus lherminieri lherminieri*, dynamique de population.

STUDY OF AUDUBON SHEARWATER'S (*PUFFINUS LHERMINIERI*) DYNAMIC POPULATION NATURAL OF THE RESERVE ISLET OF SAINTE-ANNE

Abstract. The study of Audubon Shearwater's (*Puffinus lherminieri lherminieri*) dynamic population of the natural reserve islet of Sainte-Anne has helped to refine knowledge of the temporal and spatial dynamics of the species through the handling of Banding data spanning from 1995 to 2007 and followed the synthesis of bird made from 1997 to 2007 on the site. Reproductive success through 1997 to 2007 is 70% excluding 1999, when the predation of rats caused a total failure of reproduction of the bird. The model that best describes the puffin population of Audubon from 1995 to 2007 is the model where survival and recapture are time dependent. The survival rate was 0.77 and the recapture rate is quite low over this period (0.3).

From 1995 to 2007 (except 1997, 1999, 2000), 71.12% of banded individuals are never recaptured. A majority of individuals recaptured was controlled after three years. On average, the recapture rate per year is 37.37% (omitting the first year of banding). The renewal of the population is 0.63. Individuals recaptured older have 11 (banded in 1996) and 12 years (banded in 1995). They were ringed chick stage.

6% of the chicks banded in 1995 and 2006 were recaptured in the future. A return after 2 or 3 years was observed in 38% of birds ringed during chick and it was mostly individuals banded in 2003 and 2004. The establishment of nature reserve islands of Sainte-Anne has helped to protect the breeding habitat of this threatened species. Deratization introduction in 1999, has contributed to the maintenance of reproductive success at a correct level. The people of Audubon shearwaters of the West Indies is considered to be threatened and the preservation of its habitat is an important ecological issue.

Keys words : natural reserve islet of Sainte-Anne, Audubon Shearwater's, *Puffinus lherminieri lherminieri*, dynamic population.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Mme N'GUELA, présidente, Mr Villeronce directeur général et Mr Laune directeur du service DPNP de m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein du Parc naturel régional de la Martinique.

Je tiens également à remercier ma responsable de stage Nadine VENUMIERE et Mme MONTI de m'avoir aidé et guidé tout au long de mon stage. Pour m'avoir transmis leurs connaissances sur le comportement du puffin d'Audubon de la RNISA, je tiens à remercier les gardiens de l'environnement Maurice MIAN, Jean Claude NICOLAS et Fred Martail.

Le traitement de mes données a nécessité une bonne configuration de mes fichiers alors je tiens à remercier énormément Christian CHAPEL, informaticien au parc sans qui le traitement de mes données sur le logiciel mark n'aurait pu commencer.

Mr Bretagnolle, chercheur spécialiste des puffins m'a apporté une aide précieuse pour la finalisation de mon rapport et m'as permis de mieux comprendre le logiciel mark. Je le remercie énormément pour sa disponibilité.

L'ambiance chaleureuse m'a beaucoup plu alors je remercie le personnel pour son accueil.

Et puis une pensée pour ma famille pour son énorme soutien...

PRESENTATION DU SERVICE DPNP – DIRECTION DE LA PROTECTION DE LA NATURE ET DES PAYSAGES

Directeur du service : Patrice Laune

Secrétariat : Viviane Betzy

Mission Charte Signalétique (2 chargés de mission) : Maurice Veilleur, Sonia Mellet

Assistance technique et administrative aux communes pour la mise en œuvre de la charte signalétique

Mission Valorisation des sites (Sylviane Biron)

Met en œuvre, coordonne ou impulse les actions visant la connaissance, la restauration et la valorisation du territoire dans divers aspects architecturaux, historiques, culturels, artistiques et techniques en vue de les faire mieux connaître aux habitants et aux touristes.

Elabore, suis, porte assistance technique et administrative aux communes pour la mise en œuvre de la charte signalétique

Mission Urbanisme et Paysages

Réalise des diagnostics, des études, des recommandations, des contrôles de conformité juridique des documents et opérations d'urbanisme et d'aménagement du territoire.

Participe à la mise en œuvre de projets d'amélioration qualitative et quantitative de l'offre touristique

Mission Scientifique (Bénédicte Chanteur)

Responsabilité de l'ensemble des actions relatives à la connaissance, à la préservation, à la gestion et à la valorisation du patrimoine naturel en application des objectifs de la charte du parc.

Conception, coordination, suivi et évaluation des actions et des programmes annuels et pluriannuels du parc concernant les domaines : flore, faune, milieux et écosystèmes, ressources naturelles.

Correspondant du Conseil scientifique du parc.

Développement des relations avec les partenaires concernés.

Mission Gestion des Espaces Protégés (Nadine Vénumière)

Assure la gestion des espaces protégés gérés par le PNRM :

Elabore et coordonne la mise en œuvre de programmes d'études scientifiques et de travaux dans le cadre d'une stratégie qu'il contribue à définir dans les plans de gestion de ces espaces protégés

Valorise la gestion des sites auprès de différents publics et ainsi, contribue à l'image de la réserve.

Encadre des collaborateurs : agents de terrain pour la collecte de données, chargés d'études, stagiaires...

Mise en œuvre des plans de gestion des espaces protégés

Police de la Nature (5 Gardiens de l'Environnement) : Maurice Mian, Jean-Claude Nicolas, Fred Martail, Marcel Bourgade, Patrick Martial).

Observation et surveillance de l'état de l'environnement

Information et éducation à l'Environnement

Police de la nature

SOMMAIRE

Etude de la dynamique de population du puffin d'Audubon (<i>Puffinus lherminieri</i>) de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne	2
Study of Audubon Shearwater's (<i>puffinus lherminieri</i>) dynamic population natural of the reserve islet of Sainte-Anne	3
Remerciements	4
Présentation du service DPNP – Direction de la Protection de la Nature et des Paysages	5
Sommaire	7
Liste des figures	8
Liste des tableaux	9
Préambule	10
Concept de la dynamique de population	10
I. Introduction	11
I.1. Méthode de conservation des espèces menacées : la mise en réserve naturelle de leur habitat. Cas de la réserve naturelle des îlets de Sainte Anne	12
I.2. Biologie du puffin d'Audubon (<i>Puffinus lherminieri</i>)	13
I.3. Objectifs de l'étude	17
II. Matériel et méthodes	18
II.1. Cadre géographique de l'étude	18
II.2. Méthodes	22
III. Résultats	27
1 ^{ère} partie	27
III.1. Collecte de données et choix d'analyse	27
2 ^{ème} partie	30
III.2. Résultats de l'étude	30
Le test d'ajustement TTBootstrapping	39
Test release	39
IV. Discussion	42
IV.1. Caractérisation de l'habitat et évolution spatiale	42
IV.2. Traits morphologiques du puffin d'Audubon	42
IV.3. Phénologie de la reproduction et éléments caractéristiques	43
IV.4. Succès reproducteur	44
IV.5. Prédation	44
IV.6. Eléments sur la dynamique temporelle et modélisation	46
V. Conclusion	47
Bibliographie	48
Annexe	50

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Répartition spatiale du puffin d'Audubon dans la Caraïbe (http://wicbirds.net/aush.html)	18
Figure 2. Localisation géographique de la réserve naturelle des îlets de Sainte Anne (Martinique) 19	
Figure 3. Répartition des colonies d'oiseaux marins dans la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne en 1997 (Biotope, 2001)	20
Figure 4. Localisation des salles souterraines visitées (plan des galeries de l'Îlet Hardy tirée de Pinchon, 1976).....	21
Figure 5. Phénologie de la reproduction du puffin d'Audubon de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne de 1997 à 2006	32
Figure 6. Evolution du succès reproducteur du puffin d'Audubon (<i>Puffinus lherminieri</i>) de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne de 1998 à 2006	34
Figure 7. Evolution du succès reproducteur du puffin d'Audubon (<i>Puffinus lherminieri</i>) de la RNISA en fonction du nombre de captures de rats effectués sur l'îlet Hardy.	35
Figure 8. Taux de survie et taux de recapture de la population de puffin d'Audubon (<i>P. lherminieri</i>) de la réserve naturelle de Sainte-Anne (RNISA) de 1996 à 2006.....	41
Figure 9. 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).	37

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Détail des suivis des nids des puffins d'Audubon réalisés dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy (RNISA).....	27
Tableau 2.	Détails des sessions de baguage de puffin	29
Tableau 3.	Temps de retour des poussins bagués recapturés de l'îlet Hardy (RNISA) .	38
Tableau 4.	Test du modèle CJS, $\phi(t)$ $p(t)$	40
Tableau 5.	Test LRT (test de ratio de vraisemblance)	40
Tableau 6.	Le critère d'information d'Akaike (AIC) pour les quatre modèles de CJS. 41	
Tableau 7.	Récapitulatif des données morphologiques du puffin d'Audubon sur les années 1998,2000 à 2002 et 2005 à 2007.....	31

PREAMBULE

Concept de la dynamique de population

La dynamique de population, englobe plusieurs concepts qu'il me semble utile de définir au préalable.

Une population est un ensemble d'individus appartenant à la même espèce, susceptibles de se reproduire entre eux, occupant une aire géographique commune et jouant un rôle particulier dans un écosystème (Odum, 1983).

Grâce à l'émergence de la théorie des traits d'histoire de vie qui intègre la génétique et l'écologie (Roughgarden, 1979 ; Barbault, 1984 ; Stearns, 1976, 1977, 1992 ; Roff, 1992), on reconnaît comme essentielle une double variabilité, celle des individus et celle de l'environnement, étant indissociables dans l'étude des populations.

La discipline récente de la biologie des populations rend compte de ces avancées en intégrant la dynamique des populations et la génétique des populations comme deux domaines étroitement liés.

La dynamique des populations, permettra d'aborder la variabilité spatio-temporelle de l'environnement sur les individus composant la population, cette dernière étant elle-même caractérisée par la variabilité entre les individus ou de leurs phénotypes. Ces derniers diffèrent en effet sur des caractères morphologiques, démographiques (fécondité, âge de la maturité sexuelle, durée de vie féconde, taux de croissance et de mortalité, espérance de vie, âges et sexes-ratios, etc.), physiologiques, comportementaux (processus de régulation des populations, aptitude à la dispersion, structuration spatiale, évitement des prédateurs, comportement avec les autres espèces de son environnement, migration, fidélité au site de ponte). C'est la variabilité des traits d'histoire de vie qui permet à une population, dans une certaine mesure, de s'adapter à la variabilité environnementale.

La variabilité spatio-temporelle de l'environnement induit des pressions de sélection variables sur les individus. Ces pressions de sélection sont d'origine biotique et abiotique: par exemple, les ressources (facteurs d'habitat, nourriture) dont la nature varie selon la saison et le lieu, les contraintes physiques (climat) et biotiques (compétition, prédation, parasitisme).

La dynamique de la population est donc une analyse démographique, éclairée par une approche écologique.

Elle présente des applications nombreuses qui sont regroupées dans trois types de problèmes de gestion : l'exploitation des espèces non domestiques à des fins économiques ou de loisir, le

contrôle des espèces jugées nuisibles aux intérêts humains et la conservation des espèces menacées d'extinction.

I. INTRODUCTION

Selon le rapport de l'IUCN (International Union for Conservation of Nature) en 2008, un oiseau sur 8, soit 12.5% de la population mondiale d'oiseaux, est menacé ou éteint. Les oiseaux sont un des groupes les mieux connus avec seulement 1% présentant des données insuffisantes (n=9 798 espèces).

Une dégradation de la situation des oiseaux dans le monde est constatée entre 1988 et 2008. Selon l'indice liste rouge, depuis 1988, 225 espèces d'oiseaux sont devenues plus menacées contre 32 espèces seulement qui sont aujourd'hui moins menacées.

On dénombre en 2008, 75 des 1500 espèces nicheuses et migratrices présentes en France et dans les DOM-TOM menacées. En comparaison avec les chiffres de 2004 (71 espèces menacées), le nombre d'espèces menacées a augmenté. La France est d'ailleurs à la quatrième position des pays qui comptent le plus d'espèces animales menacées dans le monde en 2008.

Parmi les 75 espèces menacées, 93.3% d'entre elles viennent des DOM-TOM. Ils sont les plus touchés tout en sachant qu'ils rassemblent plus de 76% des espèces d'oiseaux des territoires français. Ce sont dans ces territoires d'une biodiversité importante et fragilisée par l'insularité (pour la plupart) que se situent les enjeux nationaux de conservation des oiseaux. Leur insularité amène à un fort endémisme dans ces régions et les rend donc vulnérables face à des changements environnementaux.

La Caraïbe, archipel d'îles dans l'océan Atlantique où se trouvent deux des départements d'outre mer (la Martinique et l'archipel de la Guadeloupe) témoigne à une plus grande échelle de la forte biodiversité du milieu et de l'intérêt à porter à ces espèces plus vulnérables à cause de leur endémisme. Près de 10% de la faune aviaire de la Caraïbe soit 57 des 560 espèces d'oiseaux de cette région, est considéré comme menacé d'extinction selon l'indice liste rouge de l'IUCN. Cela place cette région comme une zone à préoccupation importante, alors qu'à ce jour aucun plan de conservation des oiseaux de la Caraïbe n'est disponible.

La perte et la dégradation des habitats, l'exploitation directe des espèces (chasse, mise en captivité), l'introduction volontaire ou involontaire d'animaux prédateurs ou compétiteurs (rat, serpent, vache...) sont les principales causes d'extinction des oiseaux.

La protection des espèces menacées est une mesure qui rentre dans le plan de conservation de ces espèces. En Martinique, selon l'arrêté Ministériel du 17 février 1989, 115 espèces

d'oiseaux sont protégées dont 28 d'entre elles sont des espèces d'oiseaux marins. Il stipule que « sont interdits sur tout le territoire du département de la Martinique et en tout temps la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la naturalisation des espèces visées ci-dessous ou, qu'ils soient vivants ou morts, leur transport, leur colportage, leur utilisation, leur mise en vente, leur vente ou leur achat ».

I.1. Méthode de conservation des espèces menacées : la mise en réserve naturelle de leur habitat. Cas de la réserve naturelle des îlets de Sainte Anne

La protection de l'habitat de l'espèce et de son environnement par la création d'une réserve naturelle permet généralement une meilleure préservation de celle-ci. Ce moyen de conservation *in situ* de l'espèce peut être intégral, et l'intervention humaine y est alors exclue totalement ou partiellement, en impliquant dans ce dernier cas la population locale dans la gestion du milieu et des espèces.

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. La Réserve Naturelle des Îlets de Sainte –Anne (RNISA), lieu de notre étude, co-gérée avec l'ONF (propriétaire du site), a été créée en 1995. Depuis 1997, elle fait l'objet de suivis scientifiques ornithologiques comme le prévoit le décret (cf. annexe). Cet espace accueille en effet, cinq espèces d'oiseaux marins protégés, dont le Puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*), qui viennent sur le site pour se reproduire. 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,
- 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.

Le décret de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne établi en 1995, a été complété par un arrêté préfectoral en 2005 (cf. doc. 1 et 2 annexe). Le décret interdit l'accès et la circulation de personnes sur la réserve ; néanmoins, des autorisations individuelles d'accès sont faites pour permettre la surveillance, la gestion, et le suivi scientifique de la réserve (art.5). Il est interdit d'introduire des animaux à l'intérieur de la réserve sauf autorisation spéciale, de porter atteinte aux animaux d'espèce non domestique de la réserve (art.6). De même pour les végétaux (art.7). La chasse, la pêche (art.9), les activités agricoles, forestières ou pastorales (art.10), les activités minières (article 13), la collecte des minéraux et des fossiles (art.14), les activités industrielles (article 15), les activités sportives ou touristiques (art.17) sont interdites dans la réserve. Il est interdit d'introduire tout type de produit sur le site (art.11). La circulation des véhicules à moteur (art.20) le survol d'aéronef moto propulsés à une hauteur du sol inférieure à 300 m (art.21), sauf autorisation spéciale, sont interdits dans la réserve. « Le campement sous une tente, dans un véhicule ou dans tout autre abri ainsi que le bivouac sont interdits, sauf dans le cadre des recherches scientifiques autorisées par le préfet , après avis du comité consultatif» (art.21).

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).

I.2. Biologie du puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*)

L'espèce *Puffinus lherminieri*, traitée ici 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'oiseau : 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).

I.2.1 Taxonomie

Le puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*) est un oiseau marin pélagique appartenant à l'ordre des Procellariiformes. Cet ordre ne regroupe que des oiseaux marins et est composé de 7 familles : *Diomedidae*, *Fregatidae*, *Hydrobatidae*, *Oceanitidae*, *Pelecanoididae*, *Phaetonidae*, *Procellariidae*. Y sont rassemblés en majorité, les albatros, les frégates, les pailles en queue, les pétrels-plongeurs, les pétrels, fulmars, prions et les puffins. La famille des Procellariidae compte 79 espèces réunies en 14 genres.

L'espèce *Puffinus lherminieri* 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. La taxonomie de cette espèce est très discutée.

D'après l'étude phylogénétique d'Austin *et al.* en 2004, il est suggéré que 14 taxons devraient être reconnus, tandis que cinq autres (*loyemilleri*, *colstoni*, *Nicolae*, *polynesiae*, et *atrodorsalis*) sont phylogénétiquement indifférenciés des espèces les plus répandues (*lherminieri*, *dichrous*, et *bailloni*) et ne sont donc probablement pas valide.

La nomenclature actuelle subdivise l'espèce *Puffinus lherminieri* en 3 clades en fonction de la zone où nichent les populations. Dans la mer des Caraïbes, la sous-espèce est *P. l. lherminieri*.

I.2.2 Distribution spatiale et statut de conservation

Cette espèce a une large distribution mondiale avec une surface de nidification globale estimée entre 50 000 et 100 000 km². La population globale des puffins d'Audubon est de 500 000 individus (Brooke, 2004).

Ils sont présents dans la zone intertropicale des trois océans : océan Atlantique, Indien et Pacifique. Ils occupent une large zone de la Caraïbe, des Grandes aux Petites Antilles : on dénombre 23/38 îles où ils sont présents (cf. doc.3 annexe).

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).

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.

On peut tout de même constater une diminution au fil des années de l'effectif de la population de la sous espèce *P. l. lherminieri*. En 1984, Halewyn et Norton estiment l'effectif des puffins d'Audubon des Antilles à 5 000 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.

L'IUCN avec l'indice liste rouge considère le puffin d'Audubon comme une espèce à préoccupation mineure (« Least Concern ») c'est-à-dire à probabilité faible de menace d'extinction surtout en raison du manque de données sur l'évolution des effectifs de la population mondiale de cette espèce.

Néanmoins, dans la Caraïbe, la population de puffins d'Audubon, relativement à d'autres populations, est de petite taille et en diminution. La population de puffins d'Audubon (*Puffinus lherminieri lherminieri*) des Antilles est considérée comme menacée par Schreiber et Lee (2000).

I.2.3 Phénologie de la reproduction et éléments caractéristiques

Les puffins se reproduisent en colonie dans beaucoup d'îles de la Caraïbe. Aux Antilles, cet oiseau marin est considéré comme un nicheur localisé, peu commun et est rare en dehors de la période de nidification (Raffaele *et al*, 1998).

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. Le sexe des adultes est déterminé par la distinction de la vocalisation chez les mâles et les femelles. 60% des mâles ont des nouvelles partenaires l'année suivante et la fidélité au couple pour les femelles n'est pas connue (échantillon trop petit).

I.2.4 Sélection du site de reproduction

Selon Trimm (2001), la densité de couples de puffins sur l'île San Salvador (Bahamas) est expliquée par la quantité d'habitats disponibles sur le site. L'habitat disponible est défini dans ce cas par le pourcentage de couverture rocheuse dans chaque cay.

Les facteurs du microhabitat influençant le choix du site de reproduction de la colonie sont la taille de la roche autour du terrier et le pourcentage de couverture rocheuse à 1m de rayon.

La présence de végétation est le facteur prédominant qui caractérise le microhabitat des terriers (Trimm, 2004).

Il n'y a pas de relation significative entre la densité de nids de puffins et les éléments du microhabitat. La survie des poussins n'est pas reliée aux éléments du microhabitat.

I.2.5 Effet de la lumière ambiante et de la colonie sur l'activité vocale

Le taux de vocalisations des puffins d'Audubon (moyenne : 9.39 appels/10min) des adultes (mâles et femelles confondus) devient plus important de 20h50 à 21h30 (16.96 appels/10min) et moins importants de 22h50 à 00h30. Le taux d'appels des poussins (15 appels/10min) est plus élevé que celui des adultes de 22h50 à 23h30 (Trimm, 2004).

Le taux d'appels et la durée de l'activité vocale la nuit sont réduits quand la lune est visible.

Au Bahamas, le taux d'appels des puffins est corrélé négativement avec le fort éclairage lunaire ; on a donc un taux d'appel plus important les nuits sombres.

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).

I.2.6 Activité du poussin

L'activité du poussin a été étudiée par Trimm en 2001.

Des différences significatives sont constatées entre les poussins concernant la répartition de leur temps aux différentes activités qui sont dormir, s'alimenter, se toiletter, être actif. L'activité qui y contribue le plus est celle consistant à dormir. Ces différences de comportement peuvent être attribuées à leur différence d'âge, de comportement, d'état de santé. Les poussins n'ont été observés en train de s'alimenter qu'entre 16h et 4h du matin avec une plus grande fréquence entre 20h et minuit. Les adultes, à mœurs nocturnes, quand ils reviennent nourrissent leurs oisillons.

Cela est en adéquation avec le fait que les poussins ont tendance à dormir durant la journée plutôt que la nuit.

Au fil des semaines quand les premières plumes apparaissent, l'oisillon passe davantage de temps à se toiletter. Néanmoins, l'alimentation diminue à mesure que l'oisillon grandit ; les adaptations de l'oiseau évoluent.

Le taux de croissance diminue à mesure que le poussin grandit.

I.2.7 Distinction entre le mâle et la femelle

A partir du cri de l'oiseau, une distinction peut être faite entre le mâle et la femelle avec une différence de structure et de fréquence du cri. C'est le cas pour beaucoup d'espèces de l'ordre de Procellariiformes (Brooke, 1978 ; Taoka et al, 1989 ; Bretagnolle et al, 2000 ; Burger et Lawrence, 2001). Un critère morphologique permet également de faire la distinction des sexes : la longueur du bec (Trimm, 2004). La longueur du bec d'un mâle est en moyenne de 29.6 mm (± 1.3) et celle de la femelle de 28.7 mm (± 0.9). La reconnaissance des sexes avec la longueur du bec est vérifiée dans 63% des cas.

I.2.8 Histoire de vie et Stratégie alimentaire

La sous espèce *P. lherminieri* a des mœurs nocturnes. Les adultes pêchent en mer la journée et reviennent sur le site à la tombée de la nuit pendant la période de nidification.

D'ailleurs la présence des oiseaux marins est utilisée comme un indicateur par les pêcheurs pour localiser les bancs de poissons et le potentiel d'une côte. Ils se nourrissent de calmars, de poissons morts ou vivants, de crustacés, des déchets anthropiques rejetés en pleine mer. Les proies sont attrapées en plongeant juste sous la surface ou plus profondément ; il peut aussi se nourrir en surface en trottinant sur l'eau. La profondeur maximale de plongeon est estimée à 21 ± 14 m (Trimm, 2004).

Quelques puffins d'Audubon (3 sur 7) ont été retrouvés à une distance de 15 km par rapport à la côte Nord de San Salvador (zone « Hump ») par radiotéléométrie. Pour les pêcheurs cette zone est considérée comme une nourricerie pour les juvéniles de poissons. On y retrouve beaucoup d'oiseaux marins en train de s'alimenter (Trimm, 2004).

Cette espèce est considérée comme sédentaire (Bull, 2006).

I.3. Objectifs de l'étude

Les données de terrain récoltées lors des suivis ornithologiques (1997 à 2007) et des séances de baguage (de 1995 à 2007) 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 10 ans environ. Les paramètres définis sont la phénologie et le succès de la reproduction, la dynamique spatiale et temporelle du puffin d'Audubon dans la réserve, les caractères descriptifs de l'espèce (durée incubation de l'œuf, durée de vie, comportement parental avec sa progéniture...). A l'aide du logiciel MARK traitant les données de baguage, une modélisation de la dynamique temporelle de l'espèce à la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne sera amorcée.

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

II.1. Cadre géographique de l'étude

II.1.1 La Caraïbe

Cet archipel 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. Les Antilles abritent de nombreux sites de nidification pour le puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri lherminieri*). Des grandes Antilles aux Petites Antilles (figure 1), 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.

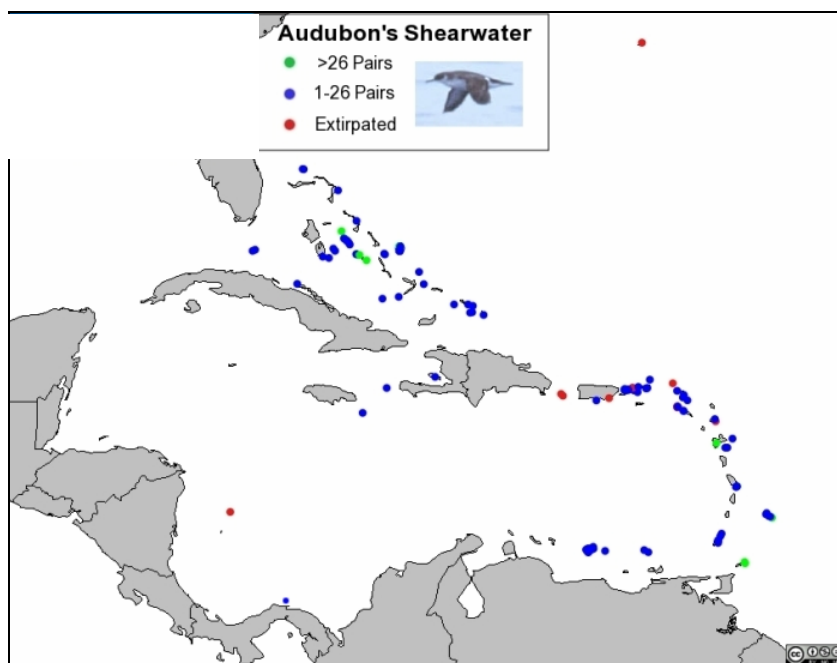


Figure 1. Répartition spatiale du puffin d'Audubon dans la Caraïbe (<http://wicbirds.net/aush.html>)

II.1.2 Présentation du site d'étude : la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne (Martinique)

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.

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 2). 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.

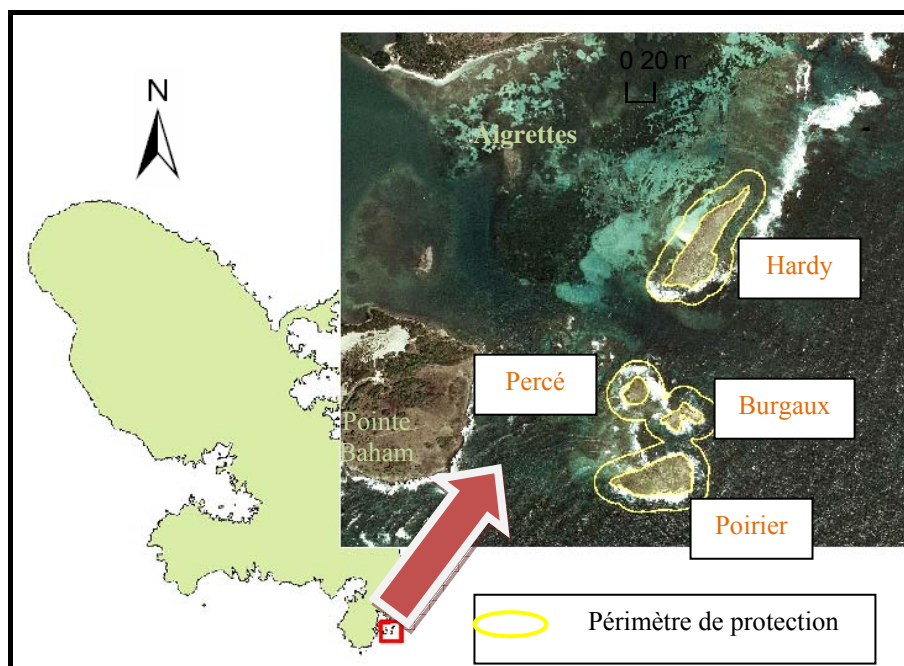


Figure 2. Localisation géographique de la réserve naturelle des îlets de Sainte Anne (Martinique) (Prêcheur, 2009)

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.

Cette réserve permet de protéger le lieu de reproduction privilégié d'oiseaux marins de toute activité humaine. 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 noddie 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. Dans les années 1990, nichaient également *Sterna dougallii* et *Sterna hirundo*.

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).

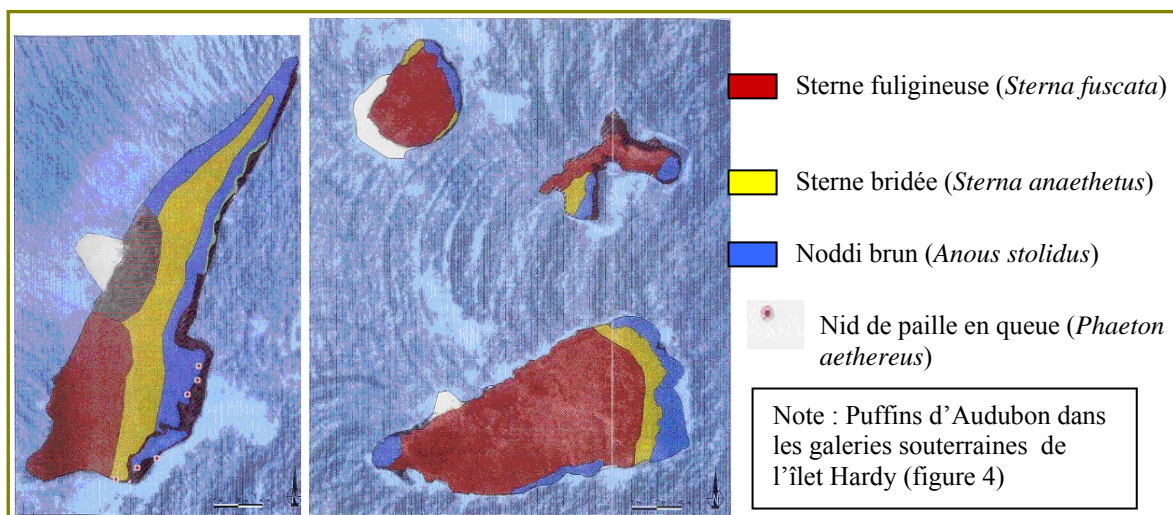


Figure 3. Répartition des colonies d'oiseaux marins dans la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne en 1997 (Biotope, 2001).

Le faucon pèlerin (*Falco peregrinus*), oiseau rapace migrateur, les limicoles (*Calidris alba*, *Charadrius semipalmatus*, *Arenaria interpres*, et *Actitis macularia*) oiseaux migrateurs et d'autres (crabes (zombi...), Bernard l'Hermite, l'anolis (*Anolis roquet*), des chitons et des

littorines), Hirondelle à ventre blanc (*Progne dominicensis*), sont également présents sur le site. La présence de rats (*Rattus rattus*) a été établie en 1999 et l'éradication a permis de diminuer considérablement leur population (De Mercey et Jérémie, 1999).

Localisation des puffins d'Audubon

Les puffins d'Audubon nichent en majorité dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy (figure 4) situées sur la façade Est. Le réseau de galeries souterraines de l'îlet Hardy est long de 350 mètres avec une superficie de 675 m². La hauteur des galeries ne dépasse pas 1m. Le substrat est meuble. On peut noter la présence du Bernard l'Hermitte et du crabe zombi dans ces galeries également.

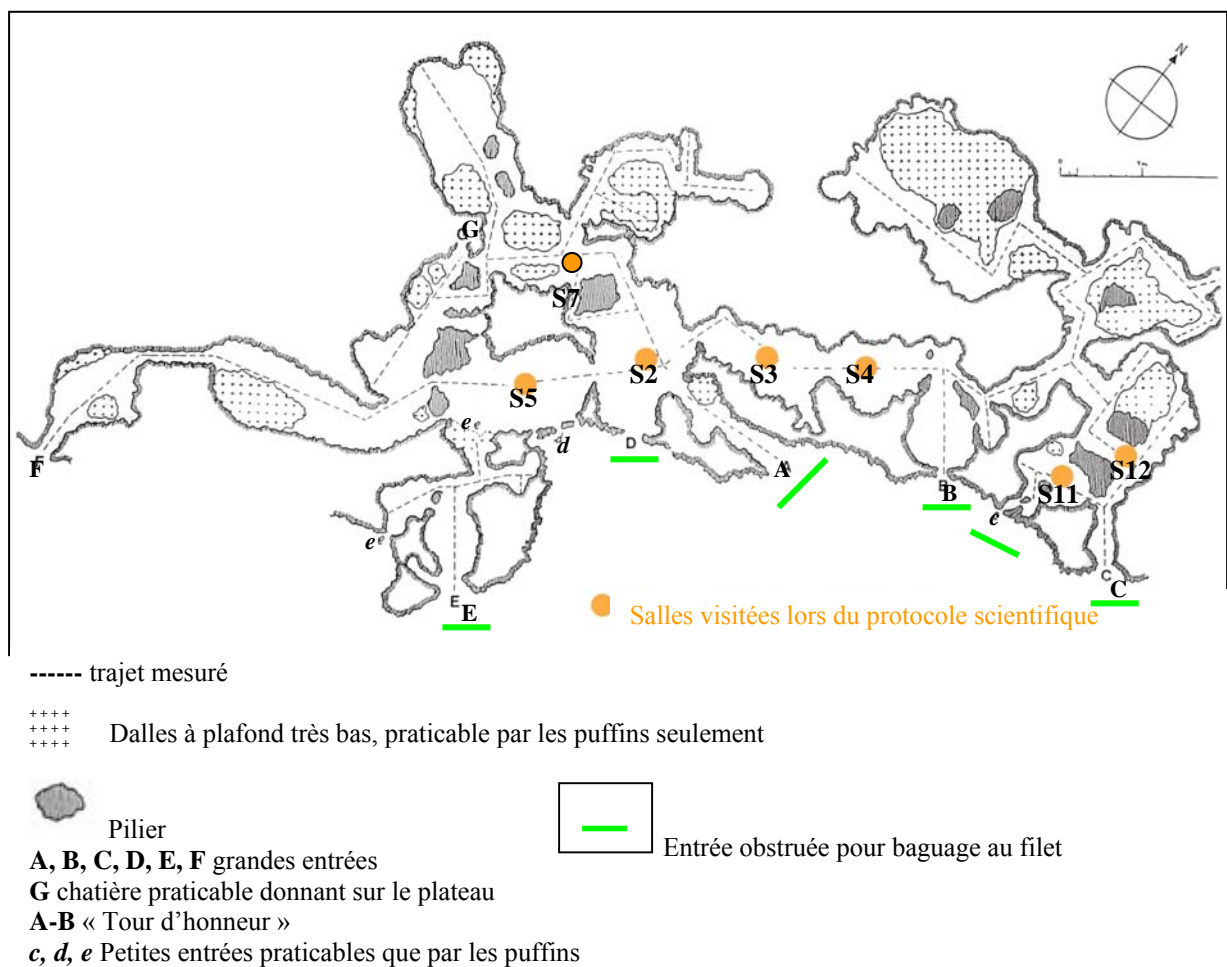
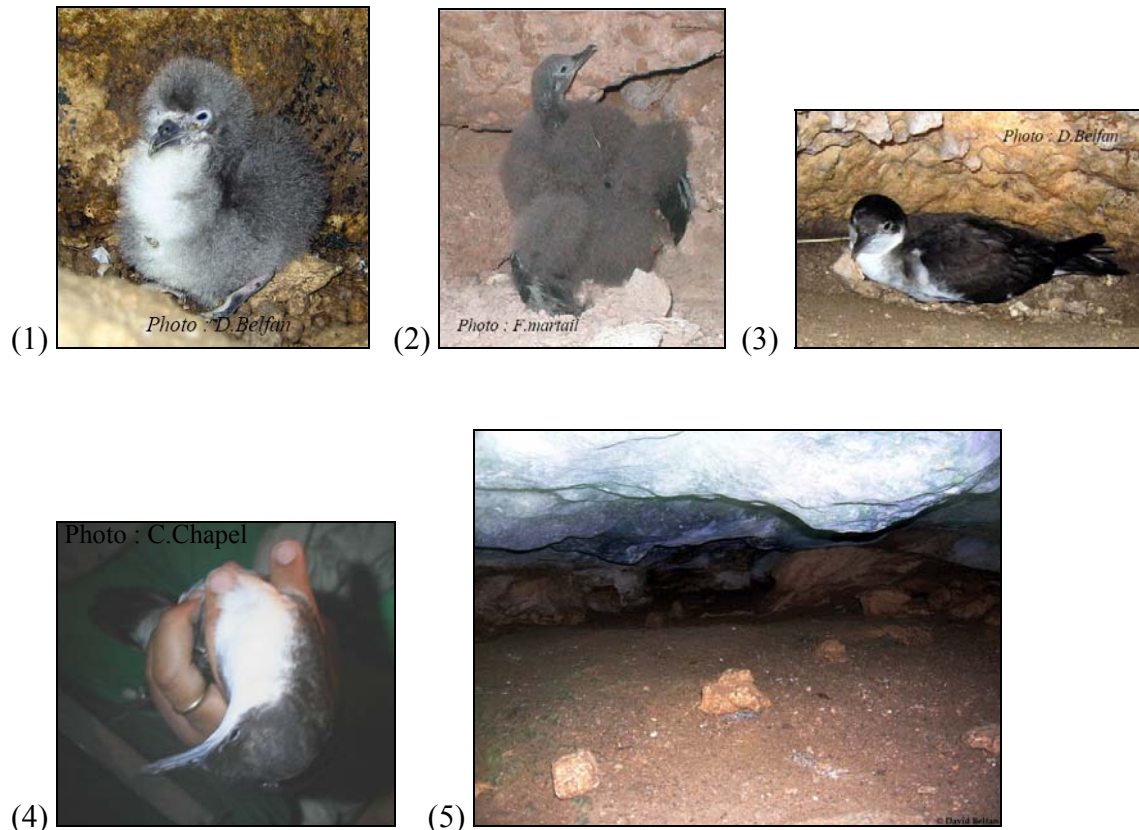


Figure 4. Localisation des salles souterraines visitées (plan des galeries de l'Îlet Hardy tirée de Pinchon, 1976)

Présentation détaillée du Puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*)

On retrouve l'oiseau dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy (5) et également dans des cavités rocheuses des îlets Burgaux et Percé. Son nid est peu élaboré avec une simple dépression dans le sol.

L'œuf pondu est de couleur blanche. Le poussin porte un duvet gris abondant (1). Lorsqu'il commence à avoir son plumage définitif mais qu'il lui reste encore du duvet, on le considère comme un juvénile (2). Au stade adulte (3 et 4), l'oiseau a un plumage noirâtre sur la face dorsale et blanc sur la face ventrale et mesure généralement jusqu'à 30 cm environ. Il a de longues ailes effilées avec une queue courte et une envergure comprise entre 64 et 74 cm. Son poids varie entre 150 et 230g. Le bec est crochu (ramphotèque) et ses pattes sont roses, parfois bleues (comme sur la photo ci-dessous).



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.

II.2. Méthodes

II.2.1 Suivi des nids des puffins

Protocole d'étude

Les puffins d'Audubon sont des oiseaux assez sensibles au dérangement surtout pendant la période d'incubation. Le protocole établi pour le suivi des nids essaye donc de limiter le dérangement des colonies tout en gardant la rigueur scientifique nécessaire lors de l'étude d'une espèce pour permettre une bonne exploitation des données.

Le protocole de suivi des nids des puffins d'Audubon a été établi en 1999 (De Mercey, Jérémie, 1999) (cf. doc.4 annexe) et modifié en 2001 (Nicolas, Martail, Mian, Brithmer et Vénumière, 2000, document non publié) (cf. doc.5 annexe). En 1999, les suivis se sont déroulés suivant le premier protocole ; en 1998, les suivis des nids ont été fait de manière similaire. A partir de 2000, le deuxième protocole est mis en place lors des suivis.

Le suivi des nids des puffins d'Audubon se fait dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy (figure 4) qui couvrent la majorité de l'effectif de la population de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne. Les résultats qui en découlent sont donc appliqués à toute la population de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne.

Six salles font 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 1998 et 1999, le début des suivis assuré par deux ou trois personnes, est prévu chaque semaine afin de pouvoir estimer le plus précisément possible la période d'arrivée de la colonie de puffins d'Audubon. A partir de 2000, les suivis sont prévus de janvier à juillet avec des variations selon les années. Les suivis commençant alors en janvier, la période d'arrivée n'a pu être estimée, les puffins arrivant vers novembre, décembre.

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. 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 permettant d'établir la chronologie des différentes étapes du cycle de reproduction (estimation de la durée de couvaion, dates d'éclosion et d'envol des petits, ...) ainsi que le succès reproducteur de la population. 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.

Traitement des données

Les différentes étapes englobant le cycle de reproduction de l'oiseau (arrivée, installation définitive, ponte, éclosion, départ) sur une période de dix ans, ont pu être définies. Cependant suivant les années, le nombre de visites de nids est parfois peu important 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.

A chaque date de suivi, le pourcentage de présence ou non du Puffin d'Audubon sous ses différents stades (œuf, poussin, juvénile, adulte) est établi (cf. doc.6 annexe). Les premiers suivis sont en général tardifs par rapport à certaines phases de la reproduction, comme l'arrivée et l'installation des puffins d'Audubon, et ces périodes n'ont donc pu être quantifiées. La ponte de l'œuf est estimée à partir de la période d'incubation de l'œuf calculée à 3 reprises (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.

Sur un certain nombre de nids prédéfinis dans les salles établies du protocole, les suivis permettent de retracer l'évolution de l'œuf au stade juvénile permettant l'envol du puffin d'Audubon. On obtient alors une estimation du succès de reproduction de l'animal pour chaque année de suivi.

La période d'incubation de l'œuf a été suivie en 1998, 2001 et 2002 par les ornithologues.

Seront intégrées également les observations faites par les ornithologues durant toutes ces années. Ce sont des notions supplémentaires qui permettent de nuancer ou renforcer certaines estimations. Elles constituent des éléments importants à la compréhension du comportement de la population de puffins d'Audubon de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne.

En général, ces informations sont contenues dans les rapports des suivis ornithologiques de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne effectués de 1999 à 2007.

II.2.2 Baguage des puffins et relevés de données morphologiques

Protocole d'étude (Nicolas, Martail, Mian, Brithmer et Vénumière, 2000, document non publié).

Deux types de baguage sont 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 est effectué dans la journée alors que le baguage au filet est effectué à l'aube (de 3h et 5h du matin), profitant du départ en mer des puffins d'Audubon pour les capturer à la sortie des grottes. Le baguage 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. La période du mois de mai a été établie pour réaliser les sessions de baguage au filet. C'est la période de transition poussin/juvenile, où la colonie est moins vulnérable au dérangement.

Traitement des données

Données de baguage

Un tableau croisé dynamique sur Excel permis de retracer les histoires de recaptures de chaque individu de 1995 à 2007 (excepté 1997, 1999, 2000).

Le logiciel mark a permis d'estimer la survie de la population de puffins d'Audubon (*P. l. herminieri*) et d'établir un modèle décrivant le mieux le comportement de cette espèce durant la période d'étude.

Le logiciel mark permet de calculer un des paramètres principaux d'une population, la survie (adulte ou juvenile), selon le modèle de CMR (capture marquage recapture) « classique ». Le principe est d'effectuer k séances de captures et de marquage ($k > 2$), de préférence à intervalles réguliers. A chaque séance, est noté le nombre d'individus déjà marqués, on effectue le baguage sur les individus non marqués et on relâche tous les individus. Ce modèle travaille avec les populations ouvertes (c'est-à-dire en prenant compte de la natalité, l'immigration et la mortalité).

Le modèle de CMR utilisé ici est le modèle de Cormack-Jolly-Seber (CJS).

Il réunit 4 conditions préalables : l'indépendance de chaque individu à la capture, l'homogénéité dans les probabilités de capture entre les individus dans le temps, l'absence de perte de bagues, chaque capture instantanée et tous les individus relâchés.

Préalablement, 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 l'ANOVA.

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 le puffin d'Audubon.

Les paramètres descriptifs (moyenne, écart type, variance, etc.) de l'ensemble des données morphologiques permettent d'estimer globalement les traits morphologiques de l'oiseau.

La dératisation

La méthode d'éradication de l'espèce *Rattus rattus* a été mise au point par le laboratoire de la faune sauvage de l'INRA de Rennes (Pascal, 1998).

Deux dispositifs sont mis en place pour la dératisation : le dispositif de piégeage couplé au dispositif de lutte chimique une fois observé un palier sur la courbe nombre de jours de piégeage / nombre de captures cumulé.

Des ratières sont disposées de façons homogène et proportionnelle à la surface des îlets de la réserve pour piéger l'espèce invasive *Rattus rattus*.

On utilise comme appât le beurre d'arachide mélangé à des flocons d'avoine. Durant l'opération de dératisation ou de contrôle, le contrôle des pièges et le réappâtage sont effectués chaque jour.

Dans l'autre dispositif, on utilise 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.

III. RÉSULTATS

1^{ère} partie

III.1. Collecte de données et choix d'analyse

III.1.1 Suivis des nids de 1997 à 2007

Les données récoltées lors des suivis des nids de la population de puffin d'Audubon (*P. lherminieri*) s'étalent de 1997 à 2007. De 1997 à 1999, les données brutes des suivis des nids n'étant pas disponibles, les résultats de ces années sont extraits des rapports. En 1997, le suivi des nids étant trop tardif (20 juin) presque aucune donnée n'a pu être récoltée.

Tableau 1. Détail des suivis des nids des puffins d'Audubon réalisés dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy (RNISA) (Prêcheur, 2009)

		1997*	1998*	1999*	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
période des suivis		A.D	A.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 01/11
intervalles entre les suivis (jours)	moyenne	A.D	A.D	A.D	25	12	7	21	17	30	17	D.I
	écart type	A.D	A.D	A.D	9	6	3	17	7	22	9	D.I
Durée totale des suivis (jours)		A.D	A.D	A.D	153	144	138	106	179	184	334	282
nombre de visites de nids		A.D	A.D	A.D	7	12	18	6	11	7	18	28
nombre de nids		A.D	17	18	23	20	24	19	20	12	12	D.I

* : données extraites (de Mercey, Jérémie, 1999) ; A.D : Aucune Donnée (pas pris en compte dans les pourcentages) ; D.I : données insuffisantes.

55.5% des suivis effectués (n= 9) entre 2000 et 2007 débutent en janvier, les autres suivis ont un retard allant de un à trois mois. 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.

III.1.2 Le traitement de dératisation sur les populations de rat *Rattus rattus* de 1999 à 2007

Le traitement de dératisation a débuté en 1999 et à l'exception de l'année 2000 car il n'y en a pas eu, le processus s'est déroulé régulièrement chaque année.

III.1.3 Le baguage

La période considérée pour le baguage comprend les années 1995 à 2007.

Le baguage au nid

Le baguage au nid a été effectué pendant 9 années, de 1995 à 2006 en excluant les années 1997, 1999 et 2001. En 1997 et 2001, il n'y a pas eu de données de baguages au nid recensées et en 1999, le départ prématuré des puffins d'Audubon n'as permis ni le baguage au nid ni le baguage au filet.

76,5% des baguages ont été effectués durant le mois de mai (n=17 sessions).

Le nombre de sessions de baguage par année varie de 1 à 3 ; 1 session de baguage a été faite durant 4 années, 2 durant 2 années et 3 durant 3 années. Les intervalles entre les sessions de capture sont plus importants en 1995 (46 jours) et en 2002 (56 jours) (cf. doc.7 annexe). En général, la durée entre deux sessions est de 1 ou 2 semaines.

On peut observer que l'effort de capture est concentré sur une session de capture chaque année de baguage. Ainsi 70 à 90% des individus sont capturés à l'issue d'une session. En 2002 et 2004, 46 individus au total ont été capturés par année et en 2005, 37 oiseaux. Les autres années, 13 individus ont été capturés en moyenne par année avec un écart type de 7 (n=6).

Sur 225 oiseaux capturés au total, 73,3% sont des poussins, 25,78% des juvéniles et 0,89% des adultes. Durant la période d'étude (sauf en 2002 et 2005), la totalité des captures étaient des poussins. La période de baguage concorde avec la forte présence de poussins constatée lors des suivis des nids dans les salles du protocole.

Les recaptures des poussins sur l'ensemble des données de baguage (filet+ au nid) sont analysés (2^{ième} partie) pour donner une estimation du devenir des poussins bagués sur le site.

En ne considérant que les données de baguage au nid, il n'y a pas de recaptures des individus au nid ; la majorité des individus capturés reste des poussins. Pour considérer néanmoins l'ensemble des individus, les données des baguages au nid et celles au filet préalablement traitées sont rassemblées afin de connaître le comportement des individus bagués à l'échelle temporelle.

Données pour l'étude de la dynamique temporelle du puffin d'Audubon (Puffinus lherminieri)

Le baguage des puffins d'Audubon a débuté en 1995. La limite de la période d'étude est fixée jusqu'à 2007. Pour les années 1997 et 2000, le baguage a été jugé non conforme car les entrées principales n'ont pas été obstruées rigoureusement ce qui a permis à une partie des oiseaux de s'échapper (AOMA, 2001). En 1999, en raison de la prédation des rats, la colonie de Puffins d'Audubon a quitté le site de reproduction de manière prématurée ce qui n'a pas permis leur baguage (De Mercey et Jérémie, 1999). Les baguages ont été effectués toutes les années sur l'îlet Hardy et à partir de 2001 (excepté 2005) sur les îlets Percé et Burgaux (les nids sont dans des anfractuosités de rochers).

De 1995 à 2007 (à l'exception des années 1997, 1999 et 2000), 3/4 des sessions de baguages ont été effectuées au cours du mois de mai. Le ¼ restant est peu significatif en terme d'effectif (145 individus) et correspond à une partie des sessions de baguage au nid effectuées lors des suivis des nids. En moyenne, 3 sessions de captures sont comptabilisées par année. Par contre, en 1995 et 2005, une seule session de capture avait été réalisée et en 2003, 6 sessions.

Les données rassemblent les individus bagués au nid et au filet des années conformes durant le mois de mai.

Une correction a été effectuée sur les individus recapturés durant la même année lors des sessions de baguage. La base de données traitée contient alors un total de 1455 individus capturés durant le mois de mai sur les trois îlets de la RNISA (Hardy, Burgaux, Percé).

Tableau 2. Détails des sessions de baguage de puffin (Prêcheur, 2009)

année	nombre total d'individus capturés	lieu	nombre de sessions de capture (jours)	nombre total d'individus par session de capture
1995	92	hardy	1	92
1996	155	hardy	2	78
1998	171	hardy	4	43
2001	93	H+P+B*	3	31
2002	179	H+P+B	2	90
2003	168	H+B	6	45
2004	191	H+P+B	4	48
2005	135	hardy	1	135
2006	155	H+P+B	3	52
2007	116	H+P+B	3	39
moyenne			3	65

* : H+P+B : Hardy+ Percé+ Burgaux

L'effort de capture a varié suivant les années (tableau 2). En moyenne, 3 sessions de baguage sont faites chaque année ; en 2003, le nombre de sessions est plus élevé (6) et en 1995 et 2005 il n'y a eu qu'une seule session de capture. 65 individus sont capturés par session de capture en moyenne, avec un écart-type de 32,7. Ce sont des données de baguage au filet et au nid

réunis, l'effort de capture n'est donc pas le même suivant la session. Une correction a été faite à chaque fois qu'un individu était capturé au cours de sessions de baguage de la même année ce qui rajoute un biais. En une session de capture en 2005, 135 individus sont capturés dans les galeries de l'îlet Hardy. En général, une centaine de puffins d'Audubon sont capturés en une nuit lors du baguage au filet.

En moyenne, 8 individus ont été capturés sur l'îlet Burgaux et 3 sur l'îlet Percé chaque année de 2001 à 2007.

Données morphologiques

Lors de la séance de baguage si le temps le permet, les bagueurs procèdent à la mesure morphologique de l'oiseau. Au fil des séances de baguage, certaines mesures morphologiques ne sont plus faites en raison de la limitation du dérangement de l'animal et du fait qu'elles ne varient pas beaucoup. Le poids, les longueurs de l'aile pliée, du bec et du tarse sont les mesures privilégiées lors des séances de baguage. Selon les années et le paramètre mesuré (poids, longueur aile pliée...) l'effectif de puffins d'Audubon mesurés, alors, varie (cf. doc.8 annexe).

2^{ième} partie

III.2. Résultats de l'étude

III.2.1 Caractérisation de l'habitat

On retrouve l'oiseau dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy et également dans des cavités rocheuses des îlets Burgaux et Percé. Son nid est peu élaboré avec une simple dépression dans le sol.

III.2.2 Eléments sur la dynamique spatiale de la population de puffin d'Audubon de la RNISA

En 2000, le puffin d'Audubon a occupé l'ensemble de la galerie de l'îlet Hardy (AOMA, 2001) et un individu fut retrouvé sous une pierre à la surface de l'îlet, alors que l'année précédente la colonie avait subi une forte prédation du rat (De Mercey et Jérémie, 1999).

En 2001, des nouveaux nids ont été localisés sur une plate-forme en contre bas du côté Atlantique de l'îlet Hardy (« véranda »). Des baguages sur les îlets Percé et Burgaux ont confirmé la présence de puffins. R.P. Pinchon qui avait observé le comportement de cette espèce de 1957 à 1965 avait déjà remarqué leur présence sur les deux autres îlets de la RNISA (AOMA, 2002). En 2002 et les années suivantes, les nouveaux nids comptabilisés en 2001

continuent à être occupés. Dans la galerie souterraine de l'îlet Hardy, les puffins se retirent davantage dans les coins inaccessibles à l'Homme.

III.2.3 Caractères morphologiques

Le poids est en moyenne de 211,93 g, l'aile pliée à 198,36mm, la queue à 89,56 mm, le bec à 30,52 mm, le tarse à 41,9 mm et la longueur nuque-bec à 67,99 mm.

Le poids et l'aile pliée sont les traits morphologiques qui varient le plus (tableau 6). Selon le stade de l'oiseau (poussin, juvénile, adulte), le poids et l'aile pliée évoluent.

Tableau 3. Récapitulatif des données morphologiques du puffin d'Audubon sur les années 1998,2000 à 2002 et 2005 à 2007

	poids (g)	aile pliée à 1 mm	queue à 1 mm	long bec à 0,1mm	larg bec à 0,1 mm	haut bec à 0,1 mm	tarse à 0,1 mm	nuque-bec (mm)
n	192	251	30	151	30	30	212	51
moyenne	211,93	198,36	89,56	30,52	11,81	6,53	41,90	67,99
variance	398,58	874,42	7,21	11,13	12,02	0,21	2,34	13,55
écart type	19,96	29,57	2,69	3,34	3,47	0,45	1,53	3,68
minimum	114,00	41,00	82,80	26,00	7,00	6,00	33,10	57,00
maximum	272,00	223,00	95,00	39,00	16,80	7,40	45,00	72,10

D'après de Mercey (1999), le poids des puffins d'Audubon adultes est plus élevé pendant la période d'incubation que pendant la période d'élevage des jeunes.

En février le poids moyen est de 226.8g (écart-type : 16.0 ; 200 à 260g, n=27) contre en mai 205.3g (écart-type : 10.3 ; 184 à 228g, n=30 ; test de student t=6.1, v=55, p<0.0005) (de Mercey, 1999).

III.2.4 Phénologie de la reproduction

D'un point de vue global, de 1997 à 2007, la population du puffin d'Audubon de la RNISA a un cycle de reproduction s'étalant de novembre à juillet, soit une période de 9 mois (figure 5)

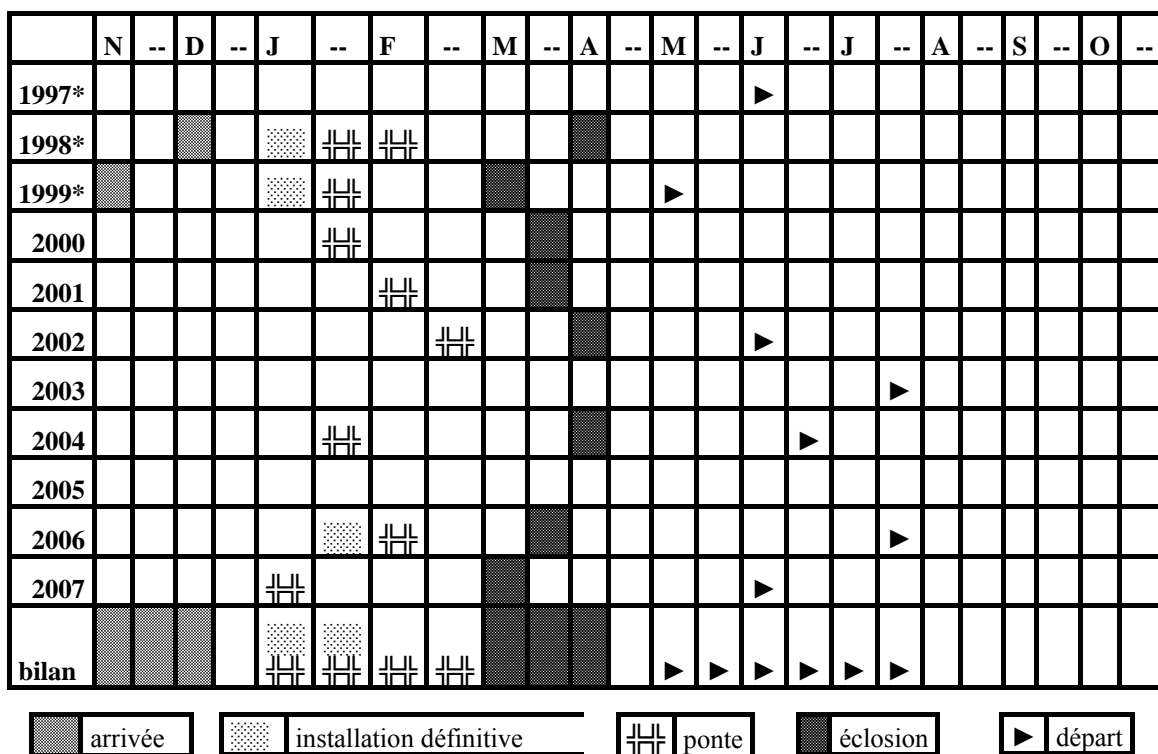
Les données de 2005 ne permettent pas de retracer la phénologie de reproduction de l'oiseau.

La population de puffins d'Audubon arrive vers novembre-décembre. Elle s'installe définitivement en janvier et commence à pondre au mois de janvier ou 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.

La période d'incubation de l'œuf a été estimée en 1998, 2001 et 2002 par les ornithologues. Le détail de ces estimations n'est pas connu. En 1998 et 2001, les estimations de la période d'incubation se vérifiaient : 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 estimation. Les années qui suivent 2002, on considère tout de même à 54 jours la période d'incubation pour l'estimation de la période de ponte.

La présence de juvéniles est constatée dès le début du mois de juin en général sauf en 2004 (début mai) et en 2001 et 2005 (fin mai).

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 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.9 annexe).



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

Figure 5. Phénologie de la reproduction du puffin d'Audubon de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne de 1997 à 2006 (Prêcheur, 2009)

III.2.5 Succès de reproduction

De 1998 à 2006 à l'exception de l'année 1999 marquée par un échec total de la reproduction, le succès de reproduction global est en général supérieur à 60%. Plus de la moitié des œufs pondus atteignent le stade de juvénile et l'envol.

Le succès reproducteur du puffin d'Audubon de la RNISA correspondant à la courbe du taux de survie du juvénile varie de 0 à 91.67% (figure 6).

En 1999, on constate une disparition précoce des 18 nids suivis. Aucun œuf n'est parvenu à éclosion. Le succès reproducteur est alors nul, dans les salles suivies. Dans une salle exclue du suivi (hors protocole), on remarque néanmoins la présence de deux poussins le 11 mai 1999 (de Mercey, Jérémie, 1999). Cette salle est difficile d'accès. 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 vu 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.

En 2001, on constate des traces de prédation (2 Puffins morts attaqués par rapace le 26/05, 1 le 5/05 et un autre en novembre) du Faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) sur les adultes de puffins d'Audubon.

En 2006, la reproduction atteint un succès quasi-total (91.67%).

Le taux de survie des œufs est généralement stable de 2001 à 2006 avec des valeurs comprises entre 92 et 100%.

Au fil des stades de développement de l'oiseau, il y a perte d'individus. Certaines années, la perte fût de 10% environ (1998, 2000, 2001, 2006) et pour d'autres elle fût plus importante avec des pertes avoisinant les 20% (2002, 2004) et 30% (2003, 2005).

La valeur du succès reproducteur en 2003 présente une grande imprécision car elle fluctue entre 27.2 et 100% ; celle de 2002 également avec des valeurs allant de 54 à 96% (cf. annexe). Cette incertitude dans les valeurs est due au fait que lors des suivis, l'absence des juvéniles peut être due à leur déplacement dans les salles hors protocole.

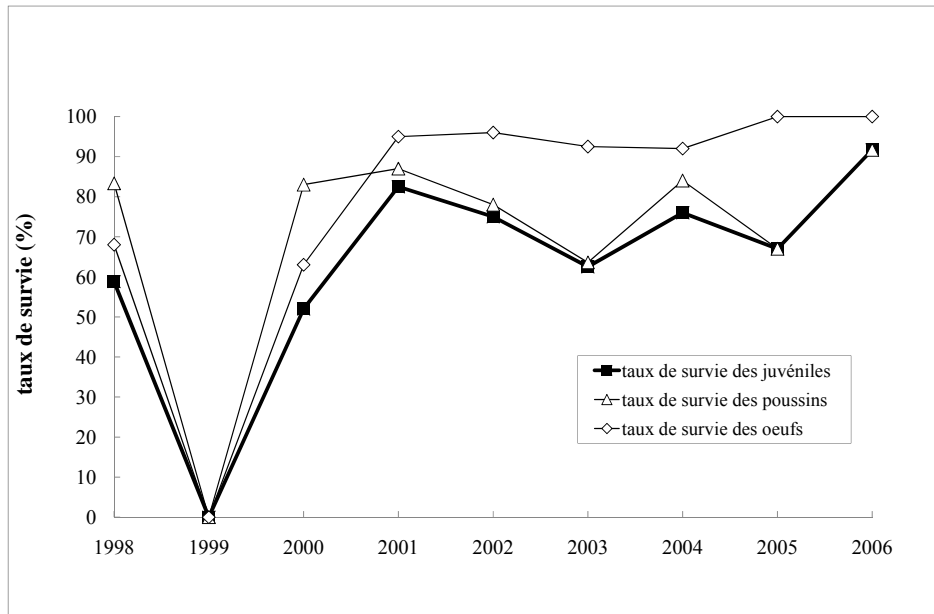


Figure 6. Evolution du succès reproducteur du puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*) de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne de 1998 à 2006 (Prêcheur, 2009)

En 2007, les données récoltées n'étaient pas exploitables pour calculer le succès reproducteur de l'espèce. On constate 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. Cela peut être dû en grande partie au dérangement occasionné lors du suivi, pour ces espèces très sensibles. L'hypothèse formulée est que vu qu'aucun œuf non éclos ni poussin mort n'ont été observés dans les galeries, la reproduction des Puffins d'Audubon s'est normalement déroulée cette année (CAROUGE, 2007).

On remarque depuis 1995, une autre prédation non négligeable sur la colonie de puffins d'Audubon, celle du faucon pèlerin. Il attaque les adultes particulièrement pendant la phase d'installation des reproducteurs. La caracinafaune, en particulier le crabe zombi prédate également les œufs mais surtout les poussins.

III.2.6 Evolution du succès reproducteur du puffin d'Audubon en fonction de la présence du rat sur l'îlet Hardy

Les mesures d'éradication de l'espèce invasive *Rattus rattus* ont commencé en novembre-décembre 1999 en raison de la forte présence de l'espèce sur la RNISA. La dératisation s'est mise en place avec les deux dispositifs évoqués ci-dessus. La dératisation et le contrôle se distinguent par la durée du traitement, respectivement 30 et 15 jours. Lorsque le contrôle de l'éradication révèle une forte présence du rat *Rattus rattus*, la période de captures de rats est rallongée sur une période de 30 jours. On observe néanmoins qu'un taux de captures non

négligeables est obtenu sur des espèces non cibles avec le dispositif chimique. Cela concerne des espèces de la carcinofaune : le bernard lhermite (*Pagurites sp.*), le crabe zaïga (*Grapsus sp.*), le crabe zombi (*Gecarcinus ruricola*). Les merles (*Quiscalus lugubris*) sont concernés également.

Une comparaison entre le succès reproducteur du puffin d'Audubon et le nombre de captures de rats sur l'îlet Hardy est faite (figure 7). La reproduction du puffin d'Audubon suivie sur l'îlet Hardy, on ne considère alors que le nombre de captures de rats de l'îlet Hardy.

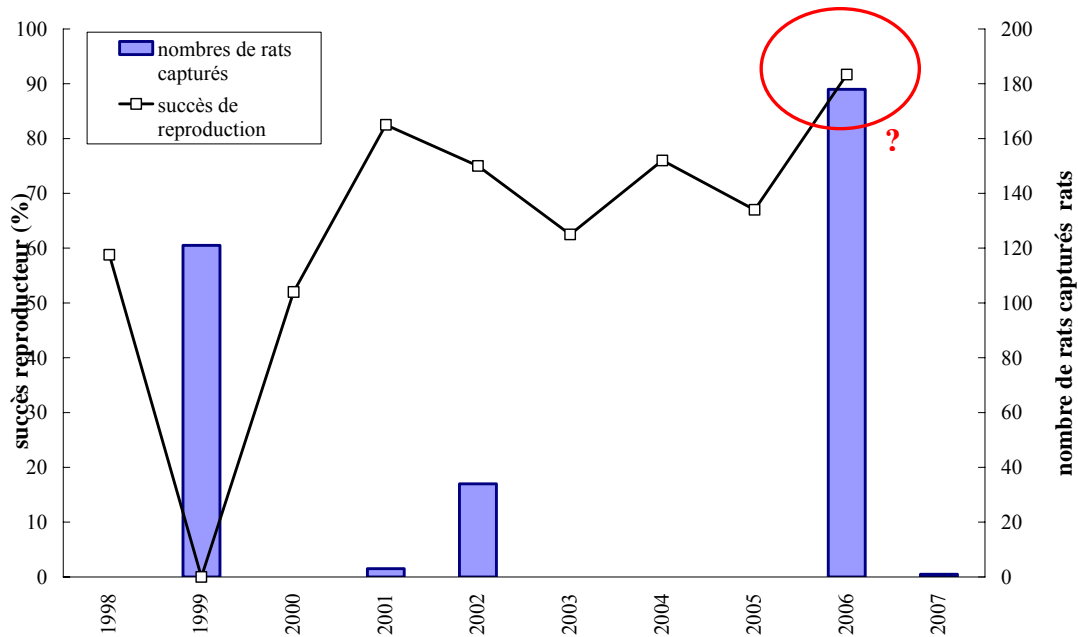


Figure 7. Evolution du succès reproducteur du puffin d'Audubon (*Puffinus lherminieri*) de la RNISA en fonction du nombre de captures de rats effectués sur l'îlet Hardy. (Prêcheur, 2009)

La présence des rats noirs est signalée depuis 1996 par des pêcheurs et s'il elle est diagnostiquée par des non spécialistes, son abondance ne devait pas être négligeable. Mais en 1998, le succès reproducteur du puffin d'Audubon était relativement correct (58,8%).

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 7). En parallèle, on a le nombre de postes de piégeage utilisées pour toutes les années de traitement. 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. 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.

En 2000, plus de la moitié (52%) des œufs atteignent le stade juvénile et le succès reproducteur du puffin d'Audubon continue d'augmenter en 2001 avec 82,5% de réussite. Le contrôle de l'éradication du rat permet de confirmer l'efficacité de la méthode de dératisation avec seulement 3 rats capturés. L'objectif n'est tout de même pas encore atteint quand on sait que cette espèce est connue pour se proliférer rapidement dans un milieu. Dans la période de janvier-février 2002, de nouvelles traces de rats avaient été observées. Une dératisation a alors été mise en place avec un effectif de la population des rats qui avait augmenté. Elle a permis de capturer 34 individus sur l'îlet Hardy. On peut observer également une diminution de 6,5% 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 invasive. En parallèle, le succès reproducteur sur ces trois années est assez stable avec une moyenne de 68,5% (écart-type : 7).

Le 31 août 2006 la présence de plus en plus abondante de l'espèce invasive *Rattus rattus* 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 succès de reproduction de l'espèce cette année là était quasi-total (91,67%). Le nombre de captures de rats est le plus important jamais atteint (178) depuis le début de la campagne d'éradication du rat *Rattus rattus* et le taux de succès de reproduction du puffin d'Audubon est le plus élevé également. En une année, la population de rats est passée d'un effectif quasi nul à un effectif de 178 individus. 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. La reproduction du puffin d'Audubon s'est bien passée à priori (Carouge, 2007).

III.2.7 Comportement du puffin d'Audubon

Couvaison de l'adulte

Sur l'îlet Hardy en 1998, la durée moyenne de la part d'incubation du parent est de 6.1 jours à partir de 91 visites à un nid sur deux jours consécutifs (De Mercey, 1999).

L'identité du parent couveur a été vérifiée par marquage à l'acide picrique (coloration jaune) avec l'ensemble des résultats des visites au nid sur 2 jours consécutifs qui permet de calculer une durée moyenne du séjour continu de chaque adulte sur l'œuf (méthode Harris, 1969).

Elevage des poussins

En 1998, les premiers jours après l'éclosion de l'œuf un adulte reste au dessus du poussin pour le protéger 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) effectué pendant trois nuits du mois de mai de la même semaine. 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 jours. 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. Cependant ce modèle est biaisé car au bout de 60 jours on constate que les poussins meurent au fur et à mesure. La courbe b indique qu'au bout de 30 jours, l'animal ne prenait plus du poids jusqu'à en perdre. Le stress causé par les mesures est peut être à l'origine de leur mort.

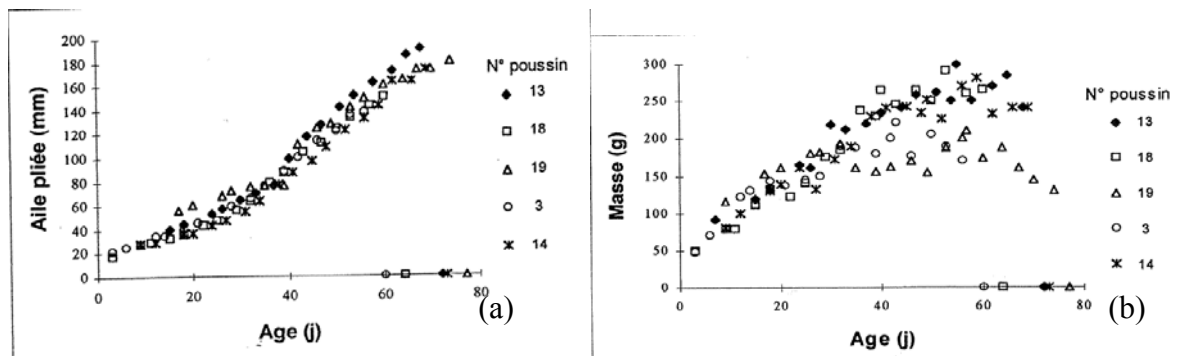


Figure 8. Modèles de détermination de l'âge du poussin : (a) : croissance de l'aile pliée en fonction de l'âge ; (b) : croissance du poids en fonction de l'âge (de Mercey, 1999).

Compétition avec les autres espèces d'oiseaux de la RNISA

A priori, il n'y a pas de compétition avec les autres espèces aviaires venant également nicher sur le site. 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.

Les périodes de ponte et d'éclosion des sternes, courant juin, coïncident avec le départ du puffin d'Audubon.

III.2.8 Éléments sur la dynamique temporelle

Devenir des poussins bagués sur le site

De 1995 à 2006 (à l'exception de 1999, 2001 et 2002), sur les 165 poussins bagués 10 ont été recapturés lors du baguage au filet soit 6% de l'effectif. 7 puffins d'Audubon ont été contrôlés une fois et 3 deux fois.

L'année de baguage qui compte le plus d'individus recapturés par la suite est l'année 1996 avec 4 poussins recapturés.

Un retour au bout de 2 à 3 ans est observé chez 38% des oiseaux bagués au stade poussin et cela concernait en majorité les individus bagués en 2003 et 2004 (tableau 3). Un autre puffin a été contrôlé une deuxième fois deux ans après son premier contrôle également.

Tableau 4. Temps de retour des poussins bagués recapturés de l'îlet Hardy (RNISA) (Prêcheur,2009)

année baguage	n°	intervalle entre année baguage et année contrôle (en années)	intervalle entre année baguage et année contrôle (en années)
1995	EA585612	10	12
	EA585693	3	
1996	FS28103	6	
	FS28105	5	6
	FS28107	7	
	FS28109	6	11
2003	FS52735	2	
	FS52743	3	
2004	FS52873	2	
	FS52876	3	

Les 4 poussins de 1996 furent en moyenne contrôlés six années plus tard et 2 d'entre eux sont revenus une deuxième fois sur le site, l'un 1 après et l'autre 5 ans après son premier contrôle.

En 2007, lors des captures au filet deux poussins contrôlés : le puffin n° EA585612 dont l'âge a pu être estimé à 12 ans et le puffin n° FS28109 âgé de 11 ans. Ce sont les puffins les plus âgés bagués au stade poussin.

Fidélité au nid

Les nids étant numérotés différemment chaque année, il n'est pas possible d'estimer la fidélité au nid de l'oiseau.

Taux de recapture et temps de retour des puffins d'Audubon

Sur 980 individus capturés au total de 1995 à 2007 (à l'exception de 1997, 1999, 2000), 71,12% ne sont jamais recapturés, 17,55% sont recapturés une fois, 6,22% sont recapturés 2 fois, 3,06% 3 fois, 1,12% 4 fois, 0,82% 5 fois et 0,10% 6 fois.

Concernant les individus recapturés une fois, 79% d'entre eux sont contrôlés au bout de trois ans. La première année de recapture pour les individus contrôlés au moins deux fois est située entre 1 et 3 ans après l'année de baguage.

Pour les individus contrôlés au moins deux fois on remarque une certaine périodicité entre les années de recapture.

En moyenne, le taux de recapture par année est de 37,37% (en omettant la première année de baguage) (cf. doc.10 annexe). Le renouvellement de la population est de 0,63.

Les individus recapturés les plus âgés ont 10 ans au moins (1 bagué en 1996 et 1 autre en 1995). En 2007, 9 individus soit 18% des capturés ont au moins 9 ans.

III.2.9 modèle de survie et de recapture

Test d'ajustement des données

Le test d'ajustement Bootstrapping

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. Pour calculer le c global, on calcule le rapport de la déviance (variance non expliquée) observée sur la moyenne de la déviance simulée. Ici, $c\text{ global}=2,811$ (annexe). On considère généralement que lorsque $c < 4$, le test d'ajustement des données est positif.

La valeur de la déviance observée de 338,322 a une probabilité p comprise entre 0,48 et 0,49. On peut considérer alors que la valeur de la déviance n'est pas significative, elle ne diffère pas significativement de 1 cela confirme l'ajustement du modèle aux données.

Test release

Il existe également le test Release, un autre test d'ajustement qui permet en décomposant le test global en une série de tests indépendants, de trouver la source du problème en cas d'un test significatif. La somme des tests de χ^2 permet d'obtenir le test global d'homogénéité des probabilités de capture. On retrouve donc le test d'ajustement du modèle de CJS (tableau 4).

Tableau 5. Test du modèle CJS, $\phi(t) p(t)$

Goodness of Fit Results (TEST 2 + TEST 3) by Group			
Group	Chi-square	df	P-level
1	63.4856	32	0.0008

Le test global est significatif avec $p\text{-level}=0,0008$.

On analyse donc en détail les deux tests 2 et 3 (voir définition en annexe) pour connaître les composantes qui rendent la probabilité de capture non homogène.

Les tests 3.Sr7 (Chi-square : 18.4523 ; df : 1 ; P-level : 0.0000) et 3.Sr8 (Chi-square : 9.8973 ; df : 1 ; P-level : 0.0016) sont les plus significatifs (annexe). Plus le degré de signification (p) est faible, plus les résultats observés rejettent l'hypothèse nulle.

Le but de ces tests est de comparer le nombre d'individus recapturés subséquentement vs 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 ; $= m_j$).

Aux années 2004 (événement 7) et 2005 (év. 8), les tests révèlent une forte hétérogénéité par rapport aux autres années.

En conséquence, à chaque relâché, les anciens marqués ont plus de chances d'être revus plus tard que les nouveaux marqués. C'est ce qu'on appelle la trap happiness.

3 causes peuvent être à l'origine d'un tel phénomène mais ici dans notre cas, la présence de transient est la plus pertinente. Une partie de la population, probablement des individus immatures non reproducteurs, se déplacent de colonie en colonie; au cours de ces déplacements, ils sont capturés sur l'îlot, mais une fois seulement.

En omettant la première année dans la base de données de baguage (i.e 1995), le biais des premières captures sur le taux de survie est éliminé et rend le modèle CJS approprié.

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

Le test de vraisemblance LRT suit une distribution χ^2 .

Le test est significatif avec de très faibles valeurs de probabilité (de l'ordre du millième). Cela indique que les paramètres que l'on a enlevés entre les deux modèles contribuent à expliquer une proportion significative de la variance des données et qu'il faut en définitive garder ces paramètres. Le modèle retenu est donc le modèle le plus général $\phi(t) p(t)$, où la survie et la recapture dépendent des années (tableau 4).

Tableau 6. Test LRT (test de ratio de vraisemblance)

Reduced Model	General Model	Chi -sq.	df	Prob.
{Phi (t) p(.) PIM}	{Phi (t) p(t) PIM}	25,328	6	0,0003
{Phi (.) p(t) PIM}	{Phi (t) p(t) PIM}	32,869	6	<.0001
{Phi (.) p(.) PIM}	{Phi (t) p(t) PIM}	77,032	13	<.0001
{Phi (t) p(.) PIM}	{Phi (.) p(t) PIM}	-7,541	0	*****
{Phi (.) p(.) PIM}	{Phi (t) p(.) PIM}	51,705	7	<.0001
{Phi (.) p(.) PIM}	{Phi (.) p(t) PIM}	44,164	7	<.0001

Le critère d'information d'Akaike (AIC), critère de sélection d'un modèle indique bien la préférence au modèle général pour l'adéquation des données avec poids du modèle =0,99 (tableau 5).

Tableau 7. Le critère d'information d'Akaike (AIC) pour les quatre modèles de CJS.

Model	Del ta Al Cc	Al Cc Al Cc	Model Wei ght	Li kel i hood	#Par	Devi ance
{Phi (t) p(t)	2481,359	0,00	0,99853	1,0000	15,000	301,502
{Phi (t) p(.)	2494,442	13,08	0,00144	0,0014	9,0000	326,830
{Phi (.) p(t)	2501,983	20,62	0,00003	0,0000	9,0000	334,371
{Phi (.) p(.)	2532,011	50,65	0,00000	0,0000	2,0000	378,534

modèle de survie et de recapture

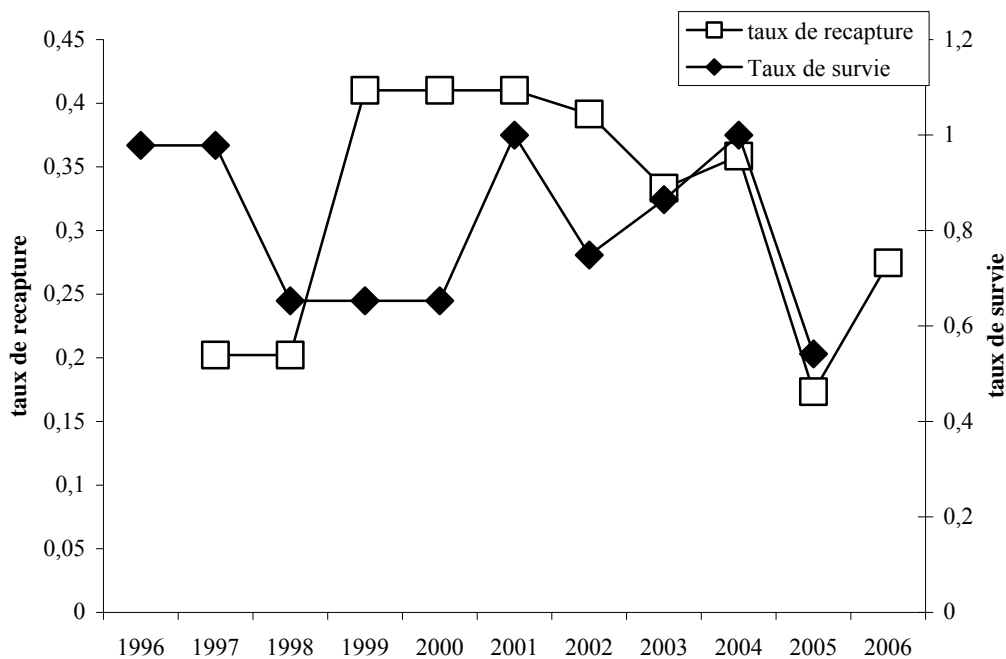


Figure 9. Taux de survie et taux de recapture de la population de puffin d'Audubon (*P. l herminieri*) de la réserve naturelle de Sainte-Anne (RNISA) de 1996 à 2006

Seul le produit du taux de survie et de recapture de l'année 2007 est calculé par le logiciel mark car c'est la dernière année. Il est de 0,37. Le taux de survie (moyenne : 0,77; écart type :

0,17) et le taux de recapture ($m : 0,30$; $e : 0,1$) sont très variables (figure 8) pour la population de puffin d'Audubon de la RNISA.

Le taux de recapture est relativement stable de 2001 à 2004 (0,35 à 0,4), puis diminue en 2005 (0,17) et se rapproche de la moyenne en 2006 (0,27). Le taux de recapture est fonction de l'effort de baguage et du comportement de l'espèce. En 2005, il n'y a eu qu'une session de capture mais un grand nombre d'individus capturés (155) par rapport à la moyenne (65). Entre 2005 et 2006, le taux de survie avait également une faible valeur (0,54).

IV. DISCUSSION

IV.1. Caractérisation de l'habitat et évolution spatiale

On retrouve l'oiseau dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy et également dans des cavités rocheuses des îlets Burgaux et Percé. Son nid est peu élaboré avec une simple dépression dans le sol.

Aux Galápagos, le puffin d'Audubon nidifie dans des terriers, recoins des falaises ou sous les rochers (Snow, 1965). Aux Bahamas, l'habitat du puffin est similaire, il nidifie également dans des dépressions (Lee et Clark, 1994). Les nids sont des endroits peu accessibles.

De manière générale, les puffins d'Audubon nichent en grande colonie dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy. A partir de 2000, on retrouve quelques puffins à la surface de l'îlet Hardy comme en 1995. Les puffins restent toujours présents sur les îlets Percé et Burgaux. Dans les galeries souterraines de l'îlet Hardy, les puffins ont tendance au fil des années à se retirer davantage dans les coins inaccessibles à l'Homme sans doute pour éviter le dérangement.

IV.2. Traits morphologiques du puffin d'Audubon

Le poids est en moyenne de 211,93 g, l'aile pliée à 198,36mm, la queue à 89,56 mm, le bec à 30,52 mm, le tarse à 41,9 mm et la longueur nuque-bec à 67,99 mm.

Le poids et l'aile pliée sont des caractères distinctifs des différents stades de l'oiseau (poussin, juvénile, adulte).

Les traits morphologiques des puffins d'Audubon adultes aux Bahamas sur la Caye Man Head (Trimm, 2001) : le poids à 244g, l'aile pliée à 20 cm, la queue à 92 mm, le bec à 29 mm et le tarse à 40 mm.

Le poids des puffins d'Audubon adultes est plus élevé pendant la période d'incubation que pendant la période d'élevage des jeunes (de Mercey, 1999).

IV.3. Phénologie de la reproduction et éléments caractéristiques

La population de puffins d'Audubon de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne se reproduit durant une période régulière de novembre à juillet de 1997 à 2007 et ceci pour chacune des étapes du cycle (arrivée, ponte, éclosion, départ). C'est la première espèce à arriver sur le site de la RNISA et à le quitter également. Son départ coïncide en général avec les périodes de ponte et d'éclosion des sternes courant ju

La population de puffins d'Audubon arrive vers novembre-décembre. Elle s'installe définitivement en janvier et commence à pondre au mois de janvier ou 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 s'étale de mai à fin juillet.

Cette 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 aux Bahamas (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.

On estime la période d'incubation de l'œuf à 54 jours (AOMA, 2001), estimation représentative de l'espèce. En effet, les travaux de différentes thèses sur le puffin d'Audubon (P. I lherminieri) permettent d'estimer la période d'incubation moyennement entre 49 et 51 jours (Bull, 2006).

Les périodes de développement de l'œuf et du juvénile avant son envol sont estimés à 40 jours environ et celle du poussin est estimée à 50 jours. Selon Bull (2006), la période de développement de l'oisillon pour l'envol est estimée à 75 jours.

Sur l'îlet Hardy en 1998, la durée moyenne de la part d'incubation du parent est de 6.1 jours à partir de 91 visites à un nid sur deux jours consécutifs (De Mercey, 1999). Ce résultat est similaire à une autre étude qui estime que les parents alternent la couvaison de leur œuf pendant une période de 8 à 10 jours.

Aux Bahamas, 66% des nuits, la présence d'un adulte au moins est constatée au nid. Le pourcentage de présence des parents mâles et femelles au nid est à peu près le même (Trimm, 2004).

Les premiers jours après l'éclosion de l'œuf un adulte reste au dessus du poussin pour le protéger 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) pour des poussins âgés de 38 jours (de Mercey, 1999) ce qui concorde avec l'étude récapitulative de Bull (2006) sur l'espèce qui dit que l'oisillon se nourrit tous les 1.3 jours.

2 modèles permettent d'évaluer l'âge du poussin en fonction de son poids ou de la longueur de son aile. Ils sont néanmoins biaisés car est survenue la mort des individus mesurés après l'étude.

IV.4. Succès reproducteur

De 1998 à 2006, à l'exception de l'année 1999 marqué par un échec total de la reproduction, le succès de reproduction global est en moyenne égal à 70,7%.

Les prédateurs du rat (*Rattus rattus*) et du faucon pèlerin sont celles ayant le plus d'impact sur la population du puffin d'Audubon de la RNISA. En 1999, l'échec total de la reproduction est du en grande partie à la prédation exercée par le rat.

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).

Les oiseaux de l'ordre des Procellariiformes sont connus pour avoir une grande longévité, ont une ponte unique et se reproduisent suivant un cycle annuel ou biennuel (Warham, 1990).

Le taux de survie des adultes très élevé permet de compenser le faible taux de fécondité de l'espèce et ainsi leur donne une forte valeur reproductrice résiduelle (Goodman, 1974).

IV.5. Prédation

Une hypothèse est avancée concernant l'évolution du comportement du rat (*Rattus rattus*) sur la RNISA de 1996 à 2007.

D'après l'avis des pêcheurs, on suppose que l'espèce *Rattus rattus* était dans une phase d'installation en 1996. Ensuite, dans la continuité du processus d'invasion biologique,

l'espèce aurait connu une explosion démographique. Cette explosion démographique nécessite une mise en adéquation des besoins de l'espèce avec les ressources du milieu qu'elle colonise. Jusqu'en 1998, la découverte des ressources non déterminées formellement, a permis à l'espèce de constituer d'abondantes populations. Puis la mise en place d'un comportement lui permettant d'exploiter efficacement la ressource que constituent les œufs, poussins et oiseaux adultes ne serait intervenue qu'en 1999 (AOMA, 2000).

En 2001 et 2002, la présence de rats noirs (*Rattus rattus*) 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).

De 2003 à 2005, les contrôles effectués indiquent une éradication totale de l'espèce invasive. En 2006, l'éradication permet d'éliminer une forte quantité de rats sur le site et en 2007, on en dénombre qu'un rat. Les résultats sur les prélèvements effectués sur la population de rats de 2006 ne sont pas encore connus et permettraient de savoir si c'est une nouvelle invasion ou non.

La procédure d'éradication de l'espèce *Rattus rattus* qui a débuté en 1999, provoque 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. 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. Dans d'autres localités, cette prédation est également subie.

Snow (1965) a observé sur une période de 15 mois, les ailes de plus de 100 puffins récemment tués. Il a suggéré que cette forte prédation expliquerait partiellement le caractère diurne de cette sous espèce de Galápagos. Dans l'île Native (Mexique), on peut remarquer la prédation occasionnelle du faucon pèlerin (*Falco peregrinus*) et du corbeau (*Corvus corax*) (Keitt, 1998). Le puffin d'Audubon a disparu de certains sites de reproduction. On peut le remarquer dans les îles du Bahamas, Bermudes, Puerto Rico, les Iles Vierges, les Grenadines, et les îles de l'ouest de la Caraïbe. L'introduction de rats et de chats est l'une des principales causes de disparition de l'espèce sur ces sites.

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).

IV.6. Éléments sur la dynamique temporelle et modélisation

De 1995 à 2007 (à l'exception de 1997, 1999, 2000), 71,12% des individus bagués ne sont jamais recapturés.

Une majorité des individus recapturés est contrôlée au bout de trois ans.

En moyenne, le taux de recapture par année est de 37,37% (en omettant la première année de baguage). Le renouvellement de la population est de 0,63.

L'hypothèse de départ est que la méthode de baguage employée ici permet d'avoir une représentation fidèle de la dynamique temporelle de la population de puffins d'Audubon de la RNISA. Dans ce cas, le faible taux de recapture peut être expliqué par ces facteurs : la mortalité, la natalité, l'immigration et l'émigration.

On peut observer également des individus non reproducteurs dans les galeries de l'îlet Hardy (Martail, comm. personnelle) ce qui est à prendre en compte dans le taux de recapture.

Le taux de survie de la population est tout de même assez élevé (0,77). Mais le taux de recapture n'est pas seulement fonction du comportement de l'oiseau mais également de l'effort de capture. Le stress subit lors du baguage peut avoir un impact non négligeable sur le comportement de l'oiseau. Des analyses complémentaires permettront de confirmer ou infirmer le caractère aléatoire du choix du site de reproduction pour la population de puffins d'Audubon de la RNISA.

Les individus recapturés les plus âgés ont 11 (bagué en 1996) et 12 ans (bagué en 1995). Ils ont été bagués au stade poussin.

En ce qui concerne les poussins, 6% des poussins bagués de 1995 à 2006 ont été recapturés par la suite. Un retour au bout de 2 à 3 ans est observé chez 38% des oiseaux bagués au stade poussin et cela concernait en majorité les individus bagués en 2003 et 2004.

Le taux de survie (moyenne : 0,77; écart type : 0,17) et le taux de recapture (m : 0,30; e : 0,1) sont variables. L'évolution du taux de survie est similaire à celle du taux de recapture de l'espèce. Le modèle décrivant le mieux la dynamique temporelle du puffin d'Audubon de la RNISA est le modèle où la survie et la recapture varient dans le temps ($\phi(t)$ $p(t)$). Des analyses plus poussées permettront d'affiner ce modèle en intégrant d'autres facteurs comme l'âge par exemple.

V. CONCLUSION

L'étude sur la dynamique de population du puffin d'Audubon de la réserve naturelle de Sainte-Anne permet d'aborder les aspects généraux de la dynamique spatiale et temporelle de cette espèce. Les connaissances sur les facteurs déterminants de la sélection du site de ponte, de l'habitat et la stratégie alimentaire de l'oiseau nous permettraient de compléter nos informations sur le comportement de l'oiseau. L'approfondissement des études sur l'espèce doit être néanmoins concilié avec le dérangement occasionné sur les puffins d'Audubon.

La mise en place de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne a permis de protéger l'habitat de reproduction de cette espèce menacée. Dans la Caraïbe, l'introduction de rats et de chats est l'une des principales causes de disparition de l'espèce sur les sites habituels de reproduction. La dératisation mise en place dès 1999, a participé de manière importante au bon déroulement de la nidification de l'oiseau sur le site et ainsi assurer un taux de succès de reproduction correct.

En 2009, un nouvel arrêté permet d'élargir le périmètre de protection à 100m (en 2005, il était à 50m) autour de chaque îlet (cf. doc.7 annexe).

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.
- 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.
- 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.
- 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 dératissage 2007. Parc naturel régional de la Martinique, Fort de France, 45p.
- chatter-calls and vocal sex recognition in Leach's Storm-petrels (*Oceanodroma*
- 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.
- Erikstad, K. E., Asheim, M., Fauchald, P., Dahlhaug, L. & Tveraa, T. 1997. Adjustment of parental effort in the *Flamingos*. New Haven: Yale Univ. Press. pp. 200-202.
- 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.
- 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 Piti* 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)
- leucorhoa*). *The Auk*. 106:498-501.
- 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.
- 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*
- PASCAL M., 2005. Improving the breeding success of a colonial seabird facing rat predation: a cost-benefit comparison between eradication and control. *Biological conservation*.
puffin ; the roles of adult body condition and chick size. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 40, 95-100.
- ROFF D. A., 1992. *The evolution of life histories. Theory and analysis*. Chapman & Hall, New York.
- 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
- 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.
- Warham, J. 1990. The Petrels. Their Ecology and Breeding Systems. London: Academic Press.

ANNEXE

Document 1. Décret de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne

Décret n°95-915 du 11 août 1995 portant création de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne (Martinique)

NOR: ENVN9530073D

Version consolidée au 15 août 1995

Le Premier ministre,

Sur le rapport du ministre de l'environnement,

Vu le code rural, et notamment le chapitre II du titre IV du livre II relatif à la protection de la nature ;

Vu les pièces afférentes à la procédure simplifiée relative au projet de classement en réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne (Martinique), l'accord du propriétaire, l'avis du préfet de la Martinique, l'avis du conseil municipal de Sainte-Anne, l'avis de la commission départementale des sites siégeant en formation de protection de la nature, les accords et avis des ministres intéressés et l'avis du Conseil national de la protection de la nature en date du 2 juin 1994,

CHAPITRE Ier : Création et délimitation de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne.

Article 1

Sont classées en réserve naturelle, sous la dénomination réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne (Martinique), les parcelles cadastrales suivantes :

Commune de Sainte-Anne:

Section C, parcelles n° 63 (îlet Hardy), n° 64 (îlet Percé), n° 65 (îlet Burgeaux), n° 66 (îlet Poirier),

soit une superficie totale de 5 hectares 57 ares 10 centiares.

Le périmètre de la réserve naturelle est inscrit sur le plan de situation au 1/25 000 et sur le plan cadastral au 1/5 000 annexés au présent décret, qui peuvent être consultés à la préfecture de la Martinique.

CHAPITRE II : Gestion de la réserve naturelle.

Article 2

Le préfet de la Martinique, après avoir demandé l'avis de la commune de Sainte-Anne, confie la gestion de la réserve naturelle à un établissement public, une association régie par la loi de

1901 ou une collectivité locale. Le gestionnaire a en particulier pour mission de préparer et mettre en oeuvre le plan de gestion de la réserve naturelle.

Article 3

Il est créé un comité consultatif de la réserve présidé par le préfet ou son représentant.

La composition de ce comité est fixée par arrêté du préfet. Il comprend:

- 1° Des représentants du propriétaire et de collectivités territoriales intéressées ;
- 2° Des représentants d'administrations et d'établissements publics concernés ;
- 3° Des représentants d'associations de protection de la nature et des personnalités scientifiques qualifiées.

Les membres du comité sont nommés pour une durée de trois ans. Leur mandat peut être renouvelé. Les membres du comité décédés ou démissionnaires et ceux qui, en cours de mandat, cessent d'exercer les fonctions en raison desquelles ils ont été désignés doivent être remplacés. Dans ce cas, le mandat des nouveaux membres expire à la date à laquelle aurait normalement pris fin celui de leurs prédécesseurs.

Le comité se réunit au moins une fois par an sur convocation de son président. Il peut déléguer l'examen d'une question particulière à une formation restreinte.

Article 4

Le comité consultatif donne son avis sur le fonctionnement de la réserve, sur sa gestion et sur les conditions d'application des mesures prévues au présent décret.

Il se prononce sur le plan de gestion de la réserve.

Il peut faire procéder à des études scientifiques et recueillir tout avis en vue d'assurer la conservation, la protection ou l'amélioration du milieu naturel de la réserve.

CHAPITRE III : Réglementation de la réserve naturelle.

Article 5

L'accès et la circulation des personnes sont interdits sur la réserve. Toutefois, le préfet peut délivrer après avis du comité consultatif des autorisations individuelles d'accès, en particulier pour la surveillance, la gestion et le suivi scientifique de la réserve.

Article 6

Il est interdit :

- 1° D'introduire à l'intérieur de la réserve des animaux, quel que soit leur état de développement, sauf autorisation délivrée par le ministre chargé de la protection de la nature, après avis du Conseil national de la protection de la nature ;
- 2° De porter atteinte de quelque manière que ce soit aux animaux d'espèce non domestique ainsi qu'à leurs oeufs, couvées, portées ou nids, ou de les emporter en dehors de la réserve ;

3° De troubler ou de déranger les animaux par quelque moyen que ce soit, sous réserve d'autorisations délivrées à des fins scientifiques par le préfet, après avis du comité consultatif.

Article 7

Il est interdit :

1° D'introduire dans la réserve tous végétaux, sous quelque forme que ce soit, sauf autorisation délivrée par le ministre chargé de la protection de la nature, après avis du Conseil national de la protection de la nature ;

2° De porter atteinte de quelque manière que ce soit aux végétaux, ou de les emporter en dehors de la réserve sauf à des fins d'entretien de la réserve, ou sous réserve d'autorisations délivrées à des fins scientifiques par le préfet, après avis du comité consultatif.

Article 8

Le préfet peut prendre, après avis du comité consultatif, toutes mesures en vue d'assurer la conservation d'espèces animales ou végétales ou la limitation d'animaux ou de végétaux surabondants dans la réserve.

Article 9

L'exercice de la chasse et celui de la pêche sont interdits.

Article 10

Les activités agricoles, forestières ou pastorales sont interdites.

Article 11

Il est interdit :

1° D'abandonner, de déposer ou de jeter tout produit, quel qu'il soit, de nature à nuire à la qualité de l'eau, de l'air, du sol ou du site ou à l'intégrité de la faune ou de la flore ;

2° D'abandonner, de déposer ou de jeter des débris de quelque nature que ce soit ;

3° De troubler la tranquillité des lieux en utilisant tout instrument sonore ;

4° De porter atteinte au milieu naturel en utilisant du feu ou en faisant des inscriptions autres que celles qui sont nécessaires à l'information du public ou aux délimitations foncières.

Article 12

Sous réserve de l'application de l'article L. 242-9 du code rural, tous travaux publics ou privés sont interdits, sauf ceux nécessités par l'entretien de la réserve et autorisés par le préfet, après avis du comité consultatif.

Article 13

Toute activité de recherche ou d'exploitation minière est interdite dans la réserve.

Article 14

La collecte des minéraux et des fossiles est interdite, sauf autorisation délivrée à des fins scientifiques par le préfet, après avis du comité consultatif.

Article 15

Toute activité industrielle ou commerciale est interdite.

Article 16

L'utilisation à des fins publicitaires de toute expression évoquant directement ou indirectement la réserve est soumise à autorisation délivrée par le préfet, après avis du comité consultatif.

Article 17

Les activités sportives ou touristiques sont interdites dans la réserve.

Article 18

Il est interdit d'introduire dans la réserve des chiens, à l'exception de ceux qui participent à des missions de police, de recherche ou de sauvetage.

Article 19

La circulation des véhicules à moteur est interdite sur toute l'étendue de la réserve.

Toutefois, cette interdiction n'est pas applicable à ceux utilisés lors d'opérations de police, de secours ou de sauvetage.

Article 20

Il est interdit aux aéronefs motopropulsés de survoler la réserve naturelle à une hauteur du sol inférieure à 300 mètres.

Cette disposition n'est pas applicable aux aéronefs d'Etat en nécessité de service, aux opérations de police ou de sauvetage ou de gestion de la réserve naturelle.

Article 21

Le campement sous une tente, dans un véhicule ou dans tout autre abri ainsi que le bivouac sont interdits, sauf dans le cadre des recherches scientifiques autorisées par le préfet, après avis du comité consultatif.

Article 22

Le ministre de l'environnement est chargé de l'exécution du présent décret, qui sera publié au Journal officiel de la République française.

Document 2. Arrêtés sur la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne : 2005 (a) et 2009

(b)

(a)



PREFECTURE DE LA REGION MARTINIQUE

Direction Régionale
de l'Environnement

ARRÊTÉ N° 051069

PORTANT CREATION D'UN PERIMETRE DE
PROTECTION AUTOUR DE LA RESERVE
NATURELLE DES ILETS DE SAINTE-ANNE.

LE PRÉFET DE LA RÉGION MARTINIQUE

Chevalier de la Légion d'Honneur

- Vu la loi 46-451 du 19 mars 1946 tendant au classement comme départements français de la Guadeloupe, de la Martinique, de la Réunion et de la Guyane ;
- Vu la loi 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature ;
- Vu les articles L 332-16 à L 332-18 et R 242-36 du Code de l'Environnement ;
- Vu le décret 95 915 du 11 août 1995 portant création de la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne
- Vu l'arrêté 97 732 du 17 avril 1997 réglementant la circulation dans les eaux et rades des départements de la Martinique et de la Guadeloupe ;
- Vu l'avis de Comité consultatif de gestion de la réserve du 13 décembre 2002;
- Vu l'avis de Comité consultatif restreint de gestion de la réserve du 27 mars 2003;
- Vu la délibération du Conseil Municipal de la commune de Sainte-Anne, réuni en séance du 6 août 2003 ;
- Vu les conclusions de l'enquête publique qui s'est déroulée du 2 juillet 2004 au 19 juillet 2004 sur le projet de création d'un périmètre de protection autour de la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne ;
- Vu l'avis de l'Office National des Forêts (ONF) du 12 février 2004 ;
- Vu l'avis de la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) du 26 février 2004 ;
- Vu l'avis de la Commission Départementale des Sites, Perspectives et Paysages réunie le 22 mars 2005 en formation Protection de la nature ;
- Vu l'avis de la Commission Nautique Locale du 25 mars 2004 ;
- Vu le travail de négociation avec tous les usagers du site et en particulier la Charte de bonne conduite, signée par la plupart des usagers réguliers identifiés du site ;
- Vu l'avis du Directeur Régional de l'Environnement (DIREN) ;
- Sur proposition du Secrétaire Général de la Préfecture ;

.../...

ARRÊTE

Article 1 : création et délimitation

Il est créé sur la commune de Sainte-Anne, autour de la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne, un périmètre de protection dont la limite extérieure correspond à une distance de 300 mètres autour de chacun des îlets Hardy, Percé, Burgaux et Poirier situés au large de la baie des anglais. La carte jointe reprend les limites de ce périmètre de protection.

Article 2 : réglementation du périmètre de protection

La réglementation applicable au périmètre de protection est fixée telle que suit :

- Dans un périmètre de 50 mètres autour de chaque îlets, toute présence humaine est interdite, à l'exception des gardes nature du Parc Naturel Régional de Martinique (PNRM) ou de l'ONF officiellement mandatés pour la surveillance de la Réserve, des scientifiques affectés à la surveillance et à l'étude des populations animales et végétales de la Réserve et des services de l'Etat et de la police municipale de la commune de Sainte-Anne dans le cadre de leurs missions de police spécifiques.
- Dans un périmètre de 300 mètres autour de chaque îlet, le mouillage forain est interdit, et l'amarrage limité aux bouées installées dans le cadre de l'observation des milieux naturels du site. Il est interdit d'amarrer plusieurs embarcations à la même bouée, sauf dans le cas d'embarcations légères type kayak de mer. L'amarrage aux bouées fixes est limité à 12 heures consécutives et est interdit de nuit.

En outre, la réglementation relative aux milieux marins et en particulier à la circulation dans la bande des 300 mètres reste applicable à l'intérieur du périmètre de protection de la Réserve. De même, les règles spécifiques au cantonnement de pêche sont applicables dans le périmètre de protection, dans la limite des périmètres déjà établis par les Affaires maritimes.

Article 3 : gestion du périmètre de protection

Le périmètre de protection est géré dans les mêmes conditions que la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne. En outre, les services de police, gendarmerie ou affaires maritimes, pourront intervenir en application du présent arrêté, en particulier sur le Domaine Public Maritime.

Article 4 : exécution

Le Secrétaire Général de la Préfecture de la Martinique, le Sous-Préfet du Marin, le Directeur Régional et Départemental des Affaires Maritimes, le Commandant de la Gendarmerie, le Directeur Régional de l'Environnement, le Directeur Régional de l'Office National des Forêts, sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Recueil des Actes Administratifs de la Préfecture et affiché en Mairie de Sainte-Anne.

Fait à Fort-de-France, le 14 AVR. 2005

LE PRÉFET





Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PREFECTURE DE LA RÉGION MARTINIQUE

SOUS-PREFECTURE DU MARIN

ARRETE N° **09 - 00872**

Portant modification d'un périmètre de protection autour de la Réserve Naturelle des Ilets de SAINTE-ANNE

LE SOUS-PREFET DU MARIN

_____ Δ _____

VU la loi n° 46-451 du 19 mars 1946 tendant au classement comme départements français de la Guadeloupe, de la Martinique, de la Réunion et de la Guyane ;

VU la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature ;

VU les articles L 332-16 à L 332-18 et R 242-36 du Code de l'Environnement ;

VU le décret n° 95-915 du 11 août 1995 portant création de la Réserve Naturelle des Ilets de SAINTE-ANNE ;

VU l'arrêté n° 97/732 en date du 17 avril 1997 réglementant la circulation dans les eaux et rades des départements de la Martinique et de la Guadeloupe ;

VU l'avis du Comité Consultatif de gestion de la réserve du 13 décembre 2002 ;

VU l'avis du Comité Consultatif de gestion de la réserve du 14 mars 2007 et du 12 novembre 2008 ;

VU l'avis du Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel du 29 mars 2007 ;

VU la délibération du Conseil Municipal de la commune de SAINTE-ANNE, réuni en séance du 30 avril 2008 et du 3 novembre 2008 ;

.../...

VU les conclusions de l'enquête publique qui s'est déroulée du 06 novembre 2008 au 21 novembre 2008 sur le projet de modification d'un périmètre de protection autour de la Réserve Naturelle des Ilets de SAINTE-ANNE ;

VU l'avis de la Commission Départementale des Sites, Perspectives et Paysages réunie le 28 septembre 2007 en formation Protection de la nature ;

VU le travail de négociation avec tous les usagers du site et en particulier la Charte de bonne conduite, signée par la plupart des usagers réguliers identifiés du site ;

VU l'avis du Directeur Régional de l'Environnement (DIREN) ;

SUR proposition du Secrétaire Général de la Préfecture,

ARRETE

ARTICLE 1er - Création et délimitation

Sur la commune de SAINTE-ANNE, il est créé autour de la Réserve Naturelle des Ilets, un périmètre de protection dont la limite extérieure correspond à une distance de 300 mètres autour de chacun des îlets Hardy, Percé, Burgaux et Poirier situés au large de la baie des anglais. La carte jointe reprend les limites de ce périmètre de protection.

ARTICLE 2 - Réglementation du périmètre de protection

La réglementation applicable au périmètre de protection est fixée telle que suit :

◇ Dans un périmètre de **100 mètres** autour de chaque îlet, toute présence ou circulation est interdite, à l'exception des gardes natures du Parc Naturel Régional de la Martinique (PNRM) ou de l'ONF officiellement mandatés pour la surveillance de la Réserve, des scientifiques affectés à la surveillance et à l'étude des populations animales et végétales de la Réserve, des services de l'Etat et de la police municipale de la commune de SAINTE-ANNE dans le cadre de leurs missions spécifiques.

◇ Dans un périmètre de 300 mètres autour de chaque îlet, le mouillage est interdit, et l'amarrage limité aux bouées installées dans le cadre de l'observation des milieux naturels du site. Il est interdit d'amarrer plusieurs embarcations à la même bouée, sauf dans le cas d'embarcations légères type kayak de mer.

◇ En outre, la réglementation relative aux milieux marins et en particulier à la circulation dans la bande des 300 mètres reste applicable à l'intérieur du périmètre de protection de la Réserve. De même, les règles spécifiques au cantonnement de pêche sont applicables dans le périmètre de protection, dans la limite des périmètres déjà établis par les Affaires Maritimes.

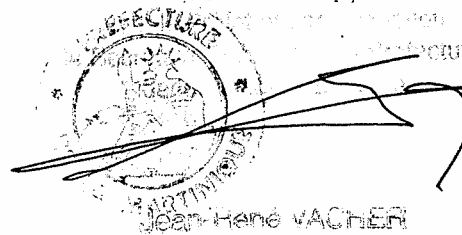
ARTICLE 3 - Gestion du périmètre de protection

Le périmètre de protection est géré dans les mêmes conditions que la Réserve Naturelle des Ilets de SAINTE-ANNE. En outre, les services de police, gendarmerie ou affaires maritimes, pourront intervenir en application du présent arrêté, en particulier sur le Domaine Public Maritime.

ARTICLE 4 - Exécution

Le Secrétaire Général de la Préfecture, le Sous Préfet du Marin, le Directeur Régional et Départemental des Affaires Maritimes, le Commandant de la Gendarmerie, le Directeur Régional de l'Environnement, le Directeur Régional de l'Office National des Forêts et le maire de SAINTE-ANNE sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté qui sera publié au Recueil des Actes Administratifs de la préfecture, ainsi que dans un journal diffusé dans le département, affiché à la mairie précitée pendant une durée d'un mois et notifié à toutes les personnes concernées par l'opération.

Fort-de-France, le 19 MARS 2009



Préfecture
Martinique
Jean-Henri VACHER

Document 3. Répartition géographique du puffin d’Audubon (*Puffinus lherminieri*)

Source : <http://www.iucnredlist.org/>

Native:

Anguilla; Antigua and Barbuda; Aruba; Bahamas; Barbados; British Indian Ocean Territory; Cape Verde; Cayman Islands; Colombia; Comoros; Costa Rica; Cuba; Djibouti; Dominica; Dominican Republic; Ecuador; Fiji; French Polynesia; Grenada; Guadeloupe; Guam; Guatemala; Guyana; Haiti; Honduras; India; Iran, Islamic Republic of; Jamaica; Japan; Kenya; Maldives; Martinique; Mauritius; Mayotte; Mexico; Micronesia, Federated States of; Montserrat; Mozambique; Netherlands Antilles; New Caledonia; Nicaragua; Northern Mariana Islands; Oman; Pakistan; Palau; Panama; Puerto Rico; Qatar; Réunion; Saint Helena; Saint Kitts and Nevis; Saint Lucia; Saint Vincent and the Grenadines; Saudi Arabia; Seychelles; Solomon Islands; Somalia; South Africa; Trinidad and Tobago; Turks and Caicos Islands; United Arab Emirates; United States; Vanuatu; Venezuela; Virgin Islands, British; Virgin Islands, U.S.; Yemen

Vagrant:

Australia; Belize; Bermuda; Brazil; Canada; Egypt; Israel; Kuwait; Sri Lanka

Document 4. 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 suffirent.

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 pondu.

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 la 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.

Document 5. Protocole de suivi des populations du puffin d'Audubon de la Réserve Naturelle des Ilets de Sainte-Anne (Nicolas, Martail, Mian, Brithmer et Vénusière, 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 couvaison, 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.

Document 6. Récapitulatif des suivis des nids de puffin d'Audubon de la réserve naturelle des îlets de Sainte-Anne effectués de 2000 à 2006.

	%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	S12			
13/01/2007				2a						a :adulte
03/02/2007		1a		5a				1a	7a	o :œuf
10/03/2007	5o-5a hors transect (S4)	1o-1a	2o-2a	3o-2a				1o-1a	5o-1p-6a	p : poussin
31/03/2007	2 crabes zombi (S5)	1p-2j	2p	2o-4p-2a				2p	2p	
07/04/2007	1 crabe zombi (S7)									

Document 7. Détails des sessions de baguage au nid

année	nb sessions	nb individus	intervalle (jours) entre sessions	nb ind max capturés pendant une session (*)	contribution de la session (*) par rapport au nombre d'individus total capturés (%)		nb juv	nb ad	nb poussins
1995	2	13	46	12	92,31	12	0	0	13
1996	2	11	7	8	72,73	8	0	0	11
1998	3	34	56; 11	23	67,65	23	5	0	29
2000	1	9	0	9	100,00	9	0	0	9
2002	1	46	0	46	100,00		46	0	0
2003	3	20	7; 12	18	90,00	18	0	0	20
2004	3	49	14; 6	46	93,88		0	0	49
2005	1	37	0	37	100,00		7	2	28
2006	1	6	0	6	100,00	6	0	0	6
nb total	17	225							
					MOYENNE	12,67			
					ECART TYPE	6,56			
					VARIANCE	43,07			

Document 8. Données morphologiques du puffin d'Audubon

année		poids (g)	aile pliée à 1 mm	queue à 1 mm	long bec à 0,1mm	tarse à 0,1 mm	nuque-bec (mm)
1998	n	62	62	30	30	32	33
	moyenne	206,65	174,90	89,56	28,55	40,18	66,67
	écart type	29,29	48,22	2,69	0,76	1,79	3,85
2000	n	9,00	9,00		9,00		9,00
	moyenne	214,44	207,11		29,28		70,71
	écart type	8,76	3,41		1,18		1,52
2001	n	3,00	11,00		9,00	11,00	
	moyenne	208,33	208,45		32,11	43,09	
	Ecart type	6,03	2,21		2,67	1,04	
2002	n	43,00	43,00			43,00	
	moyenne	219,02	203,14			41,91	
	écart type	15,69	25,64			1,00	
2005	n	57,00	58,00		35,00	58,00	
	moyenne	211,46	206,21		35,46	42,71	
	écart type	10,25	3,81		2,43	1,30	
2006	n	9,00	48,00		48,00	48,00	9,00
	moyenne	215,33	207,38		28,30	41,50	70,11
	écart type	13,64	4,12		1,45	1,17	1,62
2007	n	9,00	20,00		20,00	20,00	
	moyenne	212,78	206,95		30,01	42,65	
	écart type	12,58	8,96		1,41	0,88	
	n global	192,00	251,00	30,00	151,00	212,00	51,00
	moyenne globale	211,93	198,36	89,56	30,52	41,90	67,99
	écart type global	19,96	29,57	2,69	3,34	1,53	3,68

Document 9. Estimations des périodes des différents stades du puffin d'Audubon.

	1997*	1998*	1999*	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
âge moyen du juvénile avant envol	P.D.D	43	*	27 +/- 26	25	30 +/- 6	P.D.D	26 +/- 14	34 +/- 73	P.D.D	P.D.D
période ŒUF	P.D.D	P.D.D	*	34 +/- 34	39	16 +/- 8	P.D.D	20 +/- 20	pas	P.D.D	P.D.D
période POUSSIN	P.D.D	P.D.D	*	13 +/- 34	49	48 +/- 8	P.D.D	40 +/- 20	pas	P.D.D	P.D.D

Document 10. Récapitulatif des effectifs des puffins d'Audubon bagués sur la réserve naturelle de Sainte-Anne de 1995 à 2007(sans 1997, 1999, 2000).

année	lieu	nb total d'individus capturés	nb total d'individus bagués	nombre d'individus bagués			nombre d'individus bagués(%)			tot	nb total d'individus contrôlés	nombre d'individus contrôlés			nombre d'individus contrôlés(%)			taux de contrôles par année
				A	J	P	A	J	P			A	J	P				
1995	hardy	92	92	80	0	12	87	0	13	100	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	hardy	155	138	127	0	11	82	0	7	89	17	0	0	11	0	0	11	
1998	hardy	171	135	79	27	29	46	16	17	79	36	25	11	0	15	6	0	21
2001	hardy	90	41	12	29	0	13	32	0	46	49	49	0	0	54	0	0	54
	burgaux	2	2	0	2	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
	percé	1	1	0	1	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	tot	93	44	12	32	0	13	34	0	47	49	49	0	0	53	0	0	53
2002	hardy	170	111	45	66	0	26	39	0	65	59	37	22	0	22	13	0	35
	burgaux	5	5	0	5	0	0	100	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
	percé	4	3	3	0	0	75	0	0	75	1	1	0	0	25	0	0	25
2002	tot	179	119	48	71	0	27	40	0	66	60	38	22	0	21	12	0	34
2003	hardy	157	87	19	49	19	12	31	12	55	70	54	15	1	34	10	1	45
	burgaux	11	9	0	8	1	0	73	9	82	2	0	2	0	0	18	0	18
2003	tot	168	96	19	57	20	11	34	12	57	72	54	17	1	32	10	1	43
2004	hardy	180	85	39	0	46	22	0	26	47	95	94	1	0	52	1	0	53

	burgaux	8	5	4	0	1	50	0	13	63	3	3	0	0	38	0	0	38
	percé	3	2	2	0	0	67	0	0	67	1	1	0	0	33	0	0	33
2004	tot	191	92	45	0	47	24	0	25	48	99	98	1	0	51	1	0	52
2005	hardy	135	64	28	8	28	21	6	21	47	71	71	0	0	53	0	0	53
2006	hardy	141	73	35	32	6	25	23	4	52	68	65	3	0	46	2	0	48
	burgaux	11	11	11	0	0	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
	percé	3	3	3	0	0	100	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	tot	155	87	49	32	6	32	21	4	56	68	65	3	0	42	2	0	44
2007	hardy	100	56	30	26	0	30	26	0	56	44	44	0	0	44	0	0	44
	burgaux	13	11	11	0	0	85	0	0	85	2	2	0	0	15	0	0	15
	percé	3	2	2	0	0	67	0	0	67	1	1	0	0	33	0	0	33
2007	tot	116	69	43	26	0	37	22	0	59	47	47	0	0	41	0	0	41

Doc.11 Test Bootstrapping

Statistical Summary of Numerical Variables

(Number of Observations = 1000)

Variable	Mean	Standard Dev.	Standard Error	95% Confidence Interval	
				Lower	Upper
NUMPAR	17,031	0,1791	0,0057	17,020	17,042
DEVIANCE	339,454	26,1401	0,8266	337,833	341,074
DEVDF	120,966	6,9267	0,2190	120,537	121,395
CHAT	2,811	0,2196	0,0069	2,797	2,825
PEARCHIS	976,850	567,9645	17,9606	941,647	1012,053

Doc. 12 Définitions des tests 2 et 3.

TEST 2: Ce test ne concerne que les individus qui seront éventuellement revus, donc encore vivants au temps i , qu'ils soient capturés ou non au temps i . Il compare les histoires de recapture subséquente des individus pour voir s'il y a des différences dans le moment que les individus sont éventuellement revus. Ce test permet de détecter des effets temporaires, généralement associés à une hétérogénéité dans les probabilités de recapture (communément appelé de la « trap dependence »).

TEST 3: Ce test compare, pour chaque cohorte d'individus capturés, les probabilités de recapture des nouveaux marqués et des anciens.

Ce test porte donc sur l'issue future de tous les individus capturés et permet de détecter des effets permanents, généralement associés à une hétérogénéité dans la survie (ou émigration permanente).

Doc.13 détail des tests 2 et 3.

Summary of TEST 3 (Goodness of fit) Results

Group	Component	Chi-square	df	P-level	Sufficient Data
1	3.SR2	0.0837	1	0.7723	Yes
1	3.SR3	1.2521	1	0.2632	Yes
1	3.SR4	6.2470	1	0.0125	Yes
1	3.SR5	4.3961	1	0.0361	Yes
1	3.SR6	8.0900	1	0.0044	Yes
1	3.SR7	18.4523	1	0.0000	Yes
1	3.SR8	9.8973	1	0.0016	Yes
1	3.SR9	0.4902	1	0.4838	Yes
Group 1	3.SR	48.9088	8	0.0000	
1	3.Sm2	0.1784	1	0.6727	Yes
1	3.Sm3	0.0000	1	1.0000	Yes

1	3.Sm4	0.0652	1	0.7986	Yes
1	3.Sm5	0.0000	1	1.0000	Yes
1	3.Sm6	0.2010	1	0.6539	Yes
1	3.Sm7	0.0000	1	1.0000	Yes
1	3.Sm8	1.0812	1	0.2985	No
Group 1	3.Sm	1.5257	7	0.9814	
Group 1	TEST 3	50.4345	15	0.0000	

Summary of TEST 2 (Goodness of fit) Results

Group	Component	Chi-square	df	P-level	Sufficient Data
1	2.C2	0.1229	2	0.9404	Yes
1	2.C3	0.4848	3	0.9222	Yes
1	2.C4	3.3057	3	0.3468	Yes
1	2.C5	3.6998	3	0.2958	Yes
1	2.C6	2.2333	3	0.5254	Yes
1	2.C7	3.2046	2	0.2014	Yes
1	2.C8	0.0000	1	1.0000	Yes
Group 1	TEST 2	13.0512	17	0.7328	