

**Programme FEDER - ECoPap**  
**« Ecologie et Conservation du Papangue »**

**SYNTHESE SUR L'ETUDE DU REGIME ALIMENTAIRE**  
**DU BUSARD DE MAILLARD, *Circus maillardi***

**Travail défini dans le cadre de l'action A3**

**ECOLOGIE ALIMENTAIRE DU BUSARD DE MAILLARD (Papangue)**



2019

Rédaction :

Pierrick FERRET - Agent de terrain - Programme ECoPap

Steve AUGIRON - Coordinateur scientifique et responsable programme ECoPap

## REMERCIEMENTS

---

Ce travail n'aurait pas été possible sans nos partenaires : l'Union Européenne, la Région Réunion, la DEAL Réunion, EDF et TEREOS Sucre OI.

Nous tenions à remercier particulièrement Stefaniya Kamenova de l'Université d'Oslo pour son aide précieuse dans la mise en place des analyses métabarcoding. Nous remercions également Charlotte Evangelista de l'Université d'Oslo pour sa contribution aux analyses isotopiques et Audrey Jaeger de l'Université de La Réunion pour son appui et ses conseils techniques.

Merci également à Damien Chiron, Christel Yeung Shi Chung et Louis Aulon pour l'acquisition et le traitement des données vidéo.

# SOMMAIRE

---

1	Introduction.....	6
2	Matériels et méthodes .....	9
2.1	Méthodes directes d'évaluation du régime alimentaire.....	9
2.1.1	Suivis des nids par vidéosurveillance .....	9
2.1.2	Analyse des pelotes de réjection .....	9
2.1.3	Identification de restes de proies .....	9
2.1.4	Observations issues de faune-reunion.fr.....	9
2.2	Méthodes indirectes d'évaluation du régime alimentaire.....	10
2.2.1	Analyses metabarcoding sur fientes.....	10
2.2.2	Analyses isotopiques des plumes .....	11
3	Résultats .....	13
3.1	Echantillonnage .....	13
3.2	Suivi par vidéosurveillance : identification des proies apportées au nid .....	15
3.3	Observations issues de faune-reunion.fr.....	18
3.4	Restes de proies.....	19
3.5	Collecte et dépouillage des pelotes de réjection .....	20
3.6	Collecte et analyse des plumes.....	20
3.6.1	Position de la niche trophique du busard sur l'axe d13C/d15N .....	20
3.6.2	Position des proies sur l'axe d13C/d15N .....	22
3.6.3	Contribution des catégories de proies au régime alimentaire du prédateur .....	22
3.6.4	Effet de l'âge, du sexe et de la localisation des busards sur leur régime alimentaire ...	23
3.7	Collecte et analyse des fientes .....	25
4	Discussion .....	27
4.1	Utilisation de pièges photo pour évaluer le régime alimentaire du Papangues .....	27
4.2	Utilisation des observations de faune-reunion.fr pour évaluer le régime alimentaire du Papangue .....	28
4.3	Utilisation des pelotes pour évaluer le régime alimentaire du Papangue .....	28
4.4	Utilisation des isotopes pour évaluer le régime alimentaire du Papangue.....	29
4.5	Comparaison du régime alimentaire du Busard de Maillard avec celui d'autres espèces de busards de la région .....	30
5	Conclusion .....	31
6	Bibliographie.....	32

## Liste des figures :

*Figure 1 : Carte de localisation des échantillonnages réalisés avec les méthodes directes d'évaluation du régime alimentaire du Papangue*

*Figure 2 : Carte de localisation des échantillonnages réalisés avec les méthodes indirectes d'évaluation du régime alimentaire du Papangue*

*Figure 3 : Régime alimentaire du Papangue selon la méthode du piège photo. Identification des proies à l'espèce. n=1110*

*Figure 4 : Type de proies consommées (en %) en fonction des nids suivis*

*Figure 5 : Ratio du nombre de proies moyen apportées par heure en relation avec la masse moyenne des proies (abscisse proie/heure, ordonnée biomasse moyenne)*

*Figure 6 : Biomasse consommée (en %) en fonction des nids suivis. n total=844*

*Figure 7 : Régime alimentaire du Papangue selon la méthode du piège photo. Regroupement des proies selon leur classe. n=1110*

*Figure 8 : Régime alimentaire selon la méthode des observations indirectes. Proies regroupées par classe. n=34*

*Figure 9 : Régime alimentaire selon la méthode des observations directes. Proies regroupées par classe. n=24*

*Figure 10 : Représentation de la niche trophique en fonction du sexe, de l'âge, de l'origine des Papangues ou de la période de la mue.*

*Figure 11 : Variation des valeurs isotopiques d13C et d15N en fonction de la commune d'origine, du sexe, de l'âge ou de la période de la mue.*

*Figure 12 : Représentation des valeurs isotopiques d13C et d15N en fonction des cinq groupes de proies.*

*Figure 13 : Présentation des contributions de chaque ressource dans le régime alimentaire.*

*Figure 14 : Contribution des différentes catégories de proies dans le régime alimentaire du Papangue.*

*Figure 15 : Contribution des différentes catégories de proies dans le régime alimentaire du Papangue en fonction de l'âge.*

*Figure 16 : Contribution des différentes catégories de proies dans le régime alimentaire du Papangue en fonction du sexe.*

*Figure 17 : Contribution des différentes catégories de proies dans le régime alimentaire du Papangue en fonction du sexe.*

*Figure 18 : Carte des trois zones d'échantillonnages pour les analyses isotopiques, en lien avec l'occupation des sols pour chaque zone.*

## Liste des tables :

*Tableau 1 : Détail de l'échantillonnage réalisé*

*Tableau 2 : Proies apportées aux nids suivis par vidéosurveillance*

*Tableau 3 : Indices de nourrissage en fonction des nids suivis avec la méthode de vidéosurveillance*

*Tableau 4 : Tableau synthèse de l'effet des variables commune, sexe et âge dans la proportion de chaque catégorie de ressource dans le régime alimentaire du Papangue.*

*Tableau 5 : Part (en %) des différentes classes de proies consommées par le Papangue selon la méthode d'estimation utilisée. Estimation basée sur l'occurrence des proies.*

# 1 INTRODUCTION

---

Le **Busard de Maillard**, *Circus maillardi* décrit par Verreaux en 1863 (Maillard 1863), également appelé Papangue à La Réunion (papang en créole réunionnais), est actuellement le seul rapace nicheur endémique de l'île de La Réunion. Depuis 2004, l'espèce est classée « En danger » d'extinction selon les critères de l'IUCN (BirdLife international 2016).

A l'arrivée de l'homme sur l'île de La Réunion, il y a environ 350 ans (Maillard. 1863), une importante perte de biodiversité fut observée en partie due à un prélèvement direct via la chasse et à l'importation d'espèces exogènes et envahissantes ayant engendré l'extinction des espèces endémiques et l'expansion d'espèces exotiques. Autrefois le Busard de Maillard était également présent sur l'île Maurice, située à 210 km de La Réunion, l'espèce y est aujourd'hui éteinte (Mourer&Chauviré et al. 2004).

Depuis la colonisation de l'île par l'Homme, le Busard de Maillard, comme beaucoup d'autres oiseaux indigènes, fait l'objet d'une forte pression de destruction (Grondin & Philippe 2011). Sa population, à cette période sur l'île de La Réunion, est décrite comme « abondante » (Dubois, 1672). Depuis les premières estimations de la population du Busard de Maillard réalisées dans les années 80 et 90 font état de 200 à 300 couples (M. Clouet 1978). Cependant, ces estimations ont été réalisées sur des zones localisées de l'île et non de façon uniforme et à l'aide de méthodes non standardisées, ce qui rends difficile toute interprétation. À la fin des années 90, la première évaluation de la population à l'échelle de l'île a estimé à entre 400 et 600 le nombre d'individus présents dont moins de 100 couples (Bretagnolle 2000). Entre 2009 et 2010, 430 individus ont été observés dont 150 couples estimés (Grondin et Philippe 2011). Ces deux dernière estimations sont quant a elles plus fiables car issues de comptages à large échelle et standardisés, cependant celles ci sont encore difficilement comparables car elles n'ont jusqu'à aujourd'hui pas encore été analysées conjointement via des modèles statistiques robustes.

Par l'observation des attaques des oiseaux en chasse, l'étude des pelotes, l'identification des proies apportées à l'aire, Clouet à pu établir que l'espèce s'alimentait de petits mammifères: rats (*Rattus rattus*), souris (*Mus musculus*), musaraignes (*Suncus murinus*) et jeunes tanrecs (*Tenrec ecaudatus*), mais aussi d'oiseaux de petite taille: *Saxicola tectes*, *Zosterops borbonica*, *Foudia madagascariensis*, *Passer domesticus*, mais aussi de plus grande taille comme : *Microscelis borbonica*, *Acridotheres tristis*, *Turnix niqricollis*, *Streptopelia picturata* et *Geopelia striata*. A cela, le lézard (*Calotes versicolor*), batracien (*Bufo regularis*), et des insectes et grosses larves complètent son régime (Clouet, 1978). Probst (1996), explicite que l'espèce capture essentiellement les petits oiseaux (*Foudia madagascariensis*, *Zosterops spp.*) et, plus rarement, des oiseaux de taille moyenne (*Columba sp.*, *Gallinula chloropus*, *Gallus sp.*). Il note également que le Papangue se nourrit de petits mammifères (*Rattus sp.*, *Tenrec ecaudatus*). Additionnellement à ces observations, il mentionne que suite à l'analyse de pelotes de réjection l'espèce consomme aussi des reptiles (*Phelsuma borbonica*, *Calotes versicolor*), des amphibiens (*Ptychadena sp.*), mais aussi des insectes (Orthoptères et Coléoptères). A l'instar des observations de Clouet, il est cité pour la première fois que l'espèce, comme de nombreux rapaces dans d'autres régions, se nourrit parfois de charognes laissées le long des routes (cadavres de chiens, chats, oiseaux, reptiles, etc). Les deux auteurs explicitent que l'espèce devait capturer beaucoup plus d'oiseaux à l'origine et semble avoir tirer profit de l'introduction des petits mammifères dont il n'existait sur l'île aucun représentant, mis à part des chauve-souris, mais qui, à

dire d'expert, devaient constituer dans les années 70 à 90, 50 à 70 % de son régime alimentaire, bien que cela n'ait pu être estimé selon des protocoles standardisés.

La synthèse des espèces consommées par le Papangue a été établie lors de l'écriture du Plan de Conservation du Busard de Maillard en 2011 (Grondin et Philippe 2011). Depuis, cette liste continue de s'allonger (Caceres, Jasmin, et Sanchez 2018) et de récentes observations ont montré que l'espèce était également capable de pêcher (Maillot et Baret 2017). Jusqu'à présent, pourtant, aucune réelle étude ne s'est consacrée à définir avec précision le régime alimentaire du Papangue. Clouet et Probst, ont inventorié les espèces entrant dans son alimentation en observant son comportement de chasse, en étudiant les pelotes et en identifiant les proies apportées à l'aire mais les estimations faites pour établir les proportions de chacune des proies sont inexistantes.

D'après la littérature, le régime alimentaire du Busard de Maillard est principalement composé de rongeurs introduits (rats et souris) ce qui peut être à l'origine d'une des menaces principales pour l'espèce: l'empoisonnement secondaire. En effet, pour des raisons de santé publique (risque leptospirose) et parce que le rat cause des dégâts aux cultures, en grande partie la canne à sucre, des campagnes de dératisations à l'aide de rodenticides (molécules chimiques) ont lieu presque sur toute l'année et sur des surfaces très importantes. Le manque de description du régime alimentaire d'un point de vue qualitatif et quantitatif pose problème, notamment concernant la proportion de rongeurs introduits, par lesquels les busards peuvent subir un empoisonnement secondaire. Plus particulièrement, le succès reproducteur pourrait être fortement impacté par l'apport de rongeurs empoisonnés lors de l'élevage des jeunes. Estimer précisément la part de ces rongeurs dans le régime alimentaire du Papangue devient primordial afin de mieux évaluer le niveau d'exposition aux rodenticides et déterminer si le risque d'empoisonnement secondaire est majeur, ce qui pourrait affecter la viabilité de la population à moyen, voir à court terme.

Le Plan de conservation du Busard de Maillard, corédigé par Biotope et la SEOR a vu le jour en 2011 et fixe parmi les objectifs l'amélioration des connaissances sur l'écologie de l'espèce. Cinq ans plus tard, débute le programme d'actions ECoPap (Ecologie et Conservation du Papangue) dans lequel l'action A3 est dédiée à l'amélioration des connaissances sur le régime alimentaire de l'espèce. C'est dans ce contexte que ce travail a été réalisé.

L'action A3 du programme ECoPap a pour objectif de faire une description de ce régime alimentaire, en décrivant les variations quantitatives et qualitatives liées au type d'habitat de chasse et à la saisonnalité.

Pour répondre à ces objectifs plusieurs méthodes différentes ont été utilisées pour évaluer le régime alimentaire du Busard de Maillard. Ces méthodes peuvent être classées selon deux catégories : les méthodes basées sur des observations directes (observations visuelles) et les méthodes basées sur des analyses spécifiques de tissus ou fientes (méthode indirecte).

Concernant la première catégorie, nous avons installé à proximité immédiate des nids des pièges photos afin d'obtenir des images des proies apportées au nid par les adultes lors du nourrissage des jeunes. De plus, comme nous ne pouvions pas disposer de caméra sur l'ensemble des nids, nous avons collecté des pelotes de réjection, constituées de débris non digérés des proies, trouvées lors des visites de nids et ce afin d'identifier leur contenu. Nous avons également noté et parfois prélevé les restes de proies retrouvés sur ou à proximité des nids. Enfin, dans l'objectif d'élargir notre champ

d'investigation et d'utiliser des méthodes variées pour décrire plus largement le régime alimentaire de l'espèce, nous avons analysé l'ensemble des observations de transport ou de consommation de proies transmises par le réseau d'observateur de faune-réunion.

Concernant les méthodes indirectes, nous avons collecté des fientes de busard directement au nid (cas des poussins) et lors de sessions de capture (jeunes et adultes), sur lesquelles des analyses metabarcoding seront menées permettant de détecter l'ADN de proies en utilisant des marqueurs spécifiques. En parallèle, nous avons aussi collecté des plumes de grande couverture sur les jeunes oiseaux au nid avant leur envol, et sur les individus volants capturés ou récupérés morts pour réaliser des analyses de la signature isotopiques des éléments chimiques azote et carbone ( $d^{15}N/d^{13}C$ ), afin de connaître le positionnement du Busard de Maillard dans la niche trophique et déterminer la part relative de différents groupes taxonomique dans son régime alimentaire.

La combinaison de toutes ces méthodes directes et indirectes, nous permettra d'affiner les connaissances sur le régime alimentaire du Busard de Maillard, et plus spécifiquement la part de la consommation de rats et d'évaluer le coût bénéfice des méthodes entre elles.



## **2 MATERIELS ET METHODES**

---

### **2.1 Méthodes directes d'évaluation du régime alimentaire**

#### **2.1.1 Suivis des nids par vidéosurveillance**

L'utilisation d'appareils vidéo pour suivre les nids des rapaces a été maintes fois réalisée dans le passé (Reif et Tornberg 2006). Cette technique permet d'obtenir beaucoup d'informations et de réduire considérablement le coût humain associé à des dizaines d'heures d'observation. En revanche, contrairement à une observation à distance, il génère parfois une perturbation dans le comportement des oiseaux et son utilisation sera plus ou moins efficace selon les espèces (Swann, Kawanishi, et Palmer 2011). De surcroît, la méthode de suivi vidéo impose malgré tout un coût humain, pour le dépouillage et l'analyse des données vidéo.

Les données d'apport de proies au nid ont été principalement collectées entre mars 2017 et aout 2018 à l'aide de pièges photo PlotWatcher Pro (Day 6 Outdoors) installés à une distance inférieure à deux mètres aux abords des nids. Les appareils ont été équipés de piles AA standards, d'une carte SD 32 Go et positionnés sur un trépied dissimulé dans la végétation. Ils ont été configurés de manière à ce qu'une photo soit prise toute les trois seconde du levé au couché du soleil. Les photos recueillies ont été visionnées, à l'aveugle, à partir du logiciel GameFinder par trois observateurs différents qui étaient en charge d'identifier les proies. L'identification a été poussées jusqu'à l'espèce lorsque ce fut possible. La date et l'heure d'apport de proie ont également été relevées.

#### **2.1.2 Analyse des pelotes de réjection**

De nombreuses espèces d'oiseaux produisent des pelotes de réjection constituées d'éléments non digérées tels que les poils, les plumes, les os et les écailles. L'analyse des matériaux non digéré présents dans les pelotes permet de décrire qualitativement le régime alimentaire et d'estimer la part relative des proies présent dans son régime alimentaire. Pour ce faire, les éléments retrouvés (ossements, écailles, etc.) sont comparés entre eux en lien avec une base de données référentielle (Errington 1930).

Des pelotes de réjection ont été collectées entre juillet 2016 et juin 2019 et ont été stockées dans des piluliers de 40 ml à température ambiante. Ces pelotes sont venues compléter un échantillon de 9 collecté dans les années antérieures au programme FEDER.

#### **2.1.3 Identification de restes de proies**

L'acquisition de ces échantillons a été réalisée en parallèle du suivi de la reproduction annuel du Busard de Maillard dont l'objectif est de localiser les nids afin d'évaluer le succès reproducteur de l'espèce. Des observations de restes de proies découverts à proximité ou au sein des nids visités ont alors été relevées. La classe et l'espèce ont été renseignées lorsque l'identification a été possible.

#### **2.1.4 Observations issues de faune-reunion.fr**

Ces observations ont été réalisées par des tierces personnes de la société civile (ornithologues et/ou naturalistes) lors de leurs déplacements sur La Réunion. Ce sont des observations ad-libitum, non standardisées, donc opportunistes, faites à l'aide de jumelles, d'appareils photos, ou tout simplement

à l'œil nu. Nous avons utilisé la base de données du site de science participative faune-réunion.fr pour accéder aux données d'observation de Busards de Maillard collectées depuis le lancement de la plateforme en 2012. Grâce aux commentaires laissés par les observateurs, nous avons sélectionnés celles qui indiquaient la consommation d'une proie identifiée. Nous avons ensuite pu classer les proies selon les catégories suivantes : mammifères, reptiles, oiseaux, amphibiens, poissons ou indéterminée.

## **2.2 Méthodes indirectes d'évaluation du régime alimentaire**

### **2.2.1 Analyses metabarcoding sur fientes**

Le « DNA barcoding » est une méthode de taxonomie moléculaire qui propose l'identification d'une espèce à partir d'une section standardisée de l'ADN génomique. Cette séquence peut être utilisée pour identifier différentes espèces de la même manière qu'un code barre identifie un produit. La région génomique utilisée pour presque tous les groupes d'animaux est localisée sur le cytochrome oxydase du génome mitochondrial. L'avantage de cette région est qu'elle est assez courte pour être séquencée rapidement et à moindre coût et juste assez longue pour identifier des variations entre espèces. En revanche, elle est beaucoup moins efficace pour l'identification des espèces végétales.

L'identification des espèces peut être réalisée à partir de nombreuses sources récoltées sur le terrain. Le régime alimentaire d'un animal peut-être déterminé à partir de l'analyse du contenu de son estomac ou de ses selles. Les brins ADN présents dans les échantillons sont extraits, les régions barcode isolées, répliquées et amplifiées pour enfin être comparées à une base de données (c.f GenBank) permettant leur assignement à des espèces précises selon les données accessibles.

Pour appliquer cette méthode, nous avons choisi d'utiliser des fientes car l'accès à ce type d'échantillon est relativement simple et non invasif pour l'espèce. Nous avons donc collectés des fientes de Papangue sur le terrain entre juin 2016 et mars 2019. Elles ont été récupérées dans des piluliers de 40ml remplis d'alcool à 70° et stockées à 5°C. En parallèle, une collecte d'échantillons de proies potentielles a dû être réalisée dans le but d'implémenter la base de données GenBank. Les échantillons proviennent d'animaux recueillis au centre de sauvegarde de la SEOR et d'espèces capturées en milieu naturel. L'ensemble des échantillons ont été envoyées au laboratoire de l'Université d'Oslo chargé des analyses metabarcoding.

Pour analyser le régime alimentaire du Papangue, nous avons déployé deux outils complémentaires : ADN metabarcoding et PCR diagnostique, les deux basés sur la détection de l'ADN à partir des restes de proies digérées dans des échantillons de fiente collectés au sein des nids.

La technique d'ADN metabarcoding repose sur l'utilisation d'amorces à large spectre taxonomique (i.e. amorces dites universelles) permettant de balayer l'ensemble des taxa potentiellement consommés par les Papangues. Nous avons combiné deux jeux d'amorces universelles – un jeu d'amorces ciblant le gène ribosomal 18S chez tous les Eucaryotes, et un deuxième jeu d'amorces ciblant le gène mitochondrial 12S amplifiant tous les Vertébrés.

La technique de PCR repose sur l'utilisation d'amorces taxon-spécifiques permettant d'estimer la fréquence d'occurrence d'un seul groupe de proies au sein de la population de Papangues. Dans

notre cas, nous avons choisi les amorces Pro+/MicoMico ciblant la région de contrôle mitochondrial chez les Rongeurs (ordre Rodentia) en lien avec les objectifs du projet.

Le choix de cette combinaison de méthodes se justifie par le fait que le papangue est une espèce de prédateur généraliste, très proche phylogénétiquement des proies qu'il est susceptible de consommer. Une approche par ADN metabarcoding permettrait d'accéder à l'ensemble des proies consommées par les Papangues sans la nécessité de disposer d'une connaissance a priori de la liste de toutes ces proies potentielles. Toutefois, en utilisant des amorces universelles chez une espèce taxonomiquement proche de ses proies, on augmente la probabilité d'amplifier l'ADN du Papangue contenu dans les cellules épithéliales couvrant les fèces et de bien meilleure qualité que l'ADN dégradé des proies digérés. Afin de s'assurer du succès des résultats, nous avons complété l'analyse de l'ADN metabarcoding par une analyse en PCR diagnostique permettant de cibler un groupe de proies taxonomiquement plus restreint mais phylogénétiquement éloigné du Papangue et toujours pertinent pour les objectifs du projet. Les jeux d'amorces choisis ciblent tous des fragments d'ADN très courts (i.e. <300 bp), compatibles avec le niveau de dégradation avancé de l'ADN des proies digérés.

Nous avons extrait l'ADN de fientes de Papangues en utilisant le kit d'extraction DNeasyBlood&Tissue de Qiagen, tout en incluant des contrôles négatifs (i.e. remplaçant l'ADN avec de l'eau ultra-pure). L'ADN extrait a été amplifié avec les amorces 18S Eucaryotes en incluant des contrôles négatifs et trois replicats PCR par échantillon. L'ensemble des produits PCR a été purifié, quantifié et préparé pour séquençage haut-débit en utilisant la technologie HiSeq 4000 de chez Illumina. Tous les échantillons ont été étiquetés avec des courtes séquences uniques durant le processus de PCR afin de faciliter l'analyse bioinformatique des séquences générées.

### **2.2.2 Analyses isotopiques des plumes**

La méthode des isotopes stables du carbone et de l'azote a été utilisée à de nombreuses reprises pour évaluer le régime alimentaire des prédateurs (Kelly 2000). Elle repose sur le principe d'accumulation des isotopes lourds des éléments ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ) dans les tissus des consommateurs dont le métabolisme entraîne la libération prioritaire des isotopes légers de ces mêmes éléments ( $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ). D'un niveau trophique à l'autre, l'organisme des êtres vivants s'enrichit en  $^{13}\text{C}$  (~1%, lié à l'excrétion préférentielle de  $^{12}\text{CO}_2$  lors de la respiration) et en  $^{15}\text{N}$  (3 à 4%, du fait de l'excrétion préférentielle du  $^{14}\text{N}$  sous forme de déchet azotés). En analysant les ratios isotopiques du carbone et de l'azote de plusieurs sources de nourriture et en les comparant à celle d'un consommateur, on peut, en tenant compte du facteur d'enrichissement d'un niveau trophique à un autre (d'une proie à un prédateur), estimer la part de ces sources de nourriture dans le régime alimentaire du consommateur, quelques soit leur place dans le réseau trophique.

La méthode a été approuvée pour les pelotes (Pokrovsky 2012) et les plumes (A. Jaeger 2011). Pour appliquer cette méthode, nous avons choisi d'utiliser des plumes. En effet, la plume est un tissu inerte une fois sa croissance terminée et sa composition isotopique restera donc stable à partir de ce moment là. Analyser sa signature isotopique renseignera donc sur la nourriture ingérée par l'oiseau durant la période où elle a été synthétisée (i.e. croissance). La plume est part ailleurs un échantillon facilement accessible dont le prélèvement affecte peu l'animal (Audrey Jaeger et al. 2009).

Les plumes de grande couverture de Papangue ont été collectées entre mars 2018 et mars 2019. Elles ont été récupérées dans des sachets ziploc et stockées à -20°C. La collecte d'échantillons de proies a, quant à elle, été réalisées entre décembre 2018 et février 2019. Des plumes et des morceaux de muscle ont été récupérés sur des sources de nourriture potentielle. L'ensemble des échantillons a été envoyé en analyse au Cornell Lab of Ornithology (US) au milieu du 1<sup>er</sup> semestre 2019. Les muscles ont préalablement été déshydratés avant leur envoi afin qu'ils ne se dégradent pas pendant le transport.

Les résultats ensuite obtenus ont été analysés à l'aide de modèles mixtes et du package SIAR.

## 3 RESULTATS

---

### 3.1 Echantillonnage

Les échantillons utilisés dans le cadre de cette étude sont issus de prélèvements ou de données acquis entre 2011 à 2019 (Tableau 1). La méthode de vidéosurveillance a permis l'acquisition du plus grand nombre d'échantillons avec 1110 proies déterminées. La majorité des données acquises proviennent de l'est de l'île de La Réunion, notamment à proximité de la zone d'étude de Bras-Panon où le suivi de l'activité de la reproduction est le plus importante (tableau1).

Méthode	Zones d'échantillonnage sur l'île	Date échantillonnage	Nombre de données
Camera trap - Vidéo	Nord, Est, Centre	2015 à 2018	1110
Pelote réjection	Nord, Est, Centre	2016 à 2019	42
Observation au nid- proies	Est	2015 à 2019	25
Observation à vue et photo	Nord, Sud, Est, Ouest, Centre	2011 à 2019	34
Fientes + Proies	Nord, Sud, Est, Ouest, Centre	2016 à 2019	61+79
Plumes + Proies	Est	2018 à 2019	40+53

*Tableau Erreur ! Pas de séquence spécifié.: Détail de l'échantillonnage réalisé*

Toutefois, certaines méthodes ont permis d'échantillonner au-delà de la zone d'activité principale de suivi de la SEOR (Bras-Panon) permettant l'acquisition de données sur le régime de l'espèce à une échelle plus globale de l'île (figure 1 et 2).

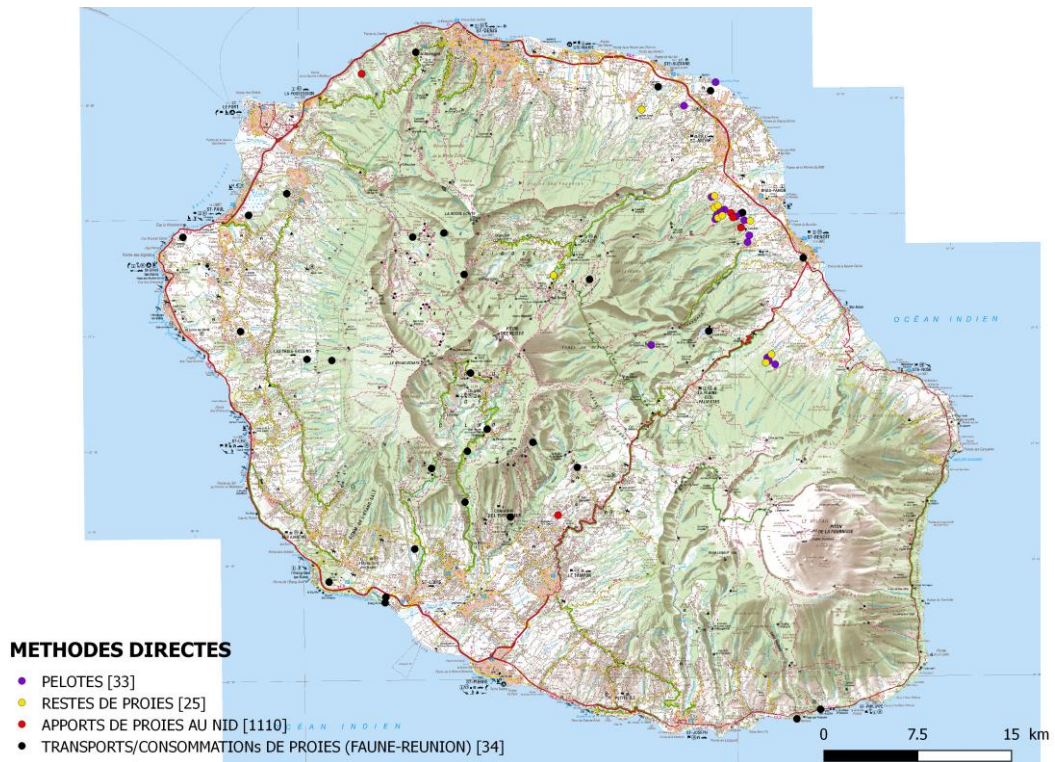


Figure 1: Carte de localisation des échantillonnages réalisés avec les méthodes directes d'évaluation du régime alimentaire du Papangue.

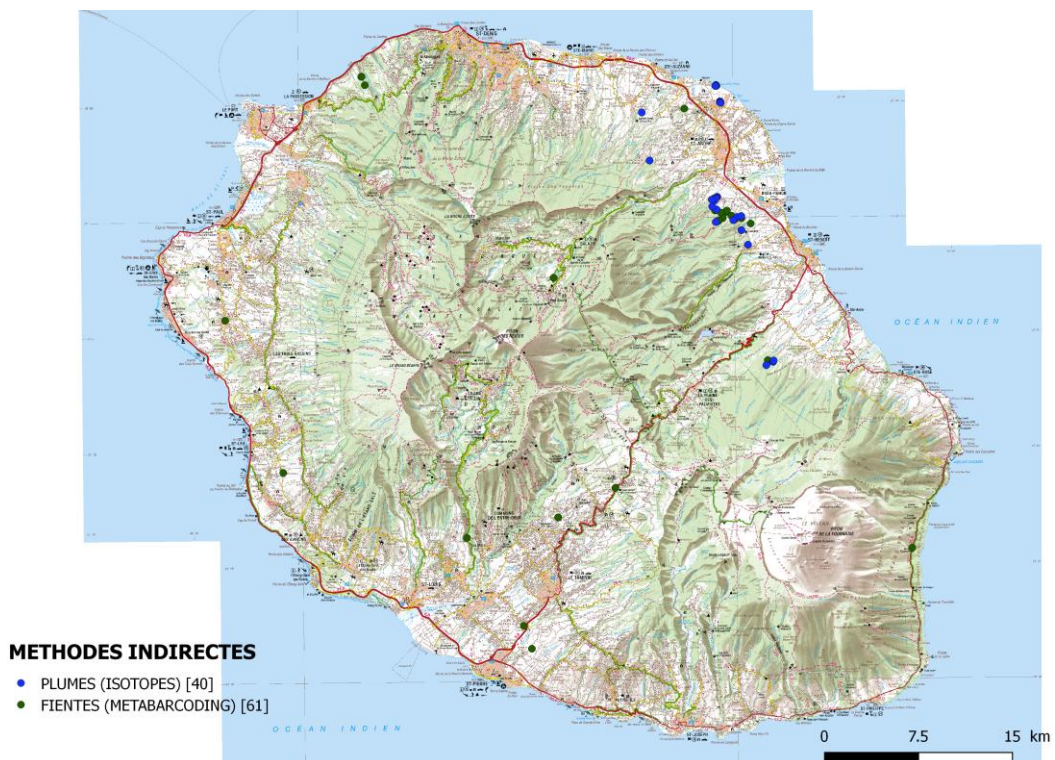


Figure 2: Carte de localisation des échantillonnages réalisés avec les méthodes indirectes d'évaluation du régime alimentaire du Papangue.

### 3.2 Suivi par vidéosurveillance : identification des proies apportées au nid

Cinq nids ont pu fournir des données de régime alimentaire. Un sixième, ayant servi de test au préalable en 2015 (nid 15-14), a permis d'inclure quelques données supplémentaires à l'échantillon acquis. Au total, 1110 proies apportées aux nids ont été détectées (tableau1).

Classe	Espèce	Nom scientifique	Biomasse moyenne (g)	Nid 15-14	Nid 17-2	Nid 17-6	Nid 17-15	Nid 18-12	Nid 18-14	Total
Mammifères				7	53	108	60	24	38	290
	Souris domestique	Mus musculus	20,5	-	1	15	27	-	2	45
	Rats	Rattus sp	250	3	35	57	22	12	18	147
	Musaraigne musquée	Suncus murinus	44	4	14	30	11	12	13	84
	Tenrec	Tenrec ecaudatus	900	-	3	-	-	-	-	3
	Indéterminée	-	-	-	-	6	-	-	5	11
Reptiles				7	144	33	20	124	38	366
	Agame arlequin	Calotes versicolor	36	5	16	26	20	16	17	100
	Caméléon panthère	Furcifer pardalis	120	2	126	7	-	104	18	257
	Geckos	Phelsuma sp	10	-	-	-	-	4	-	4
	Indéterminée	-	-	-	2	-	-	-	3	5
Oiseaux				0	21	48	23	4	39	135
	Martin triste	Acridotheres tristis	112,5	-	2	7	-	-	-	9
	Géopélie zébrée	Geopelia strata	53,5	-	1	-	-	1	-	2
	Bulbul orphée	Pycnonotus jocosus	32,5	-	1	2	1	2	3	9
	Tourterelle malgache	Nesoenas picturata	167	-	-	-	-	-	1	1
	Pigeon domestique	Columbia livia	257,5	-	-	1	-	-	-	1
	Caille des blés	Coturnix coturnix	112,5	-	-	-	1	-	-	1
	Caille peinte	Excalfactoria chinensis	38,5	-	-	-	-	-	1	1
	Indéterminée	-	-	-	17	38	21	1	34	111
Indéterminée	-	-		3	84	92	37	8	95	319
Total				17	302	281	140	160	210	1110

Tableau 2: proies apportées aux nids suivis par vidéosurveillance

A partir du jeu de données suivi vidéo, l'espèce de proie la plus abondante apportée aux jeunes oiseaux est le caméléon panthère, *Furcifer pardalis* (23%) suivi des rats, *Rattus sp* (14%) puis des agames arlequins, *Calotes versicolor* (9%). Les musaraignes, *Suncus murinus* (7%), et les souris, *Mus musculus* (4%), complètent le top 5 des espèces consommées par le rapace (figure2). *Furcifer pardalis* est notamment consommé en très grande quantité sur deux nids (17-2 et 18-12) (tableau2).

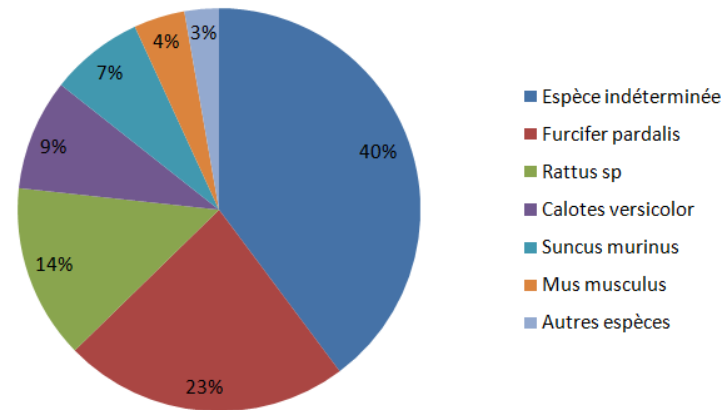


Figure 3: Régime alimentaire du Papangue selon la méthode du piège photo. Identification des proies à l'espèce. n=1110

Le type de proies apportées diffère selon les nids. Les reptiles sont la principale source de nourriture pour certains couples (nid 17-2 et nid 18-12) alors que d'autres consomment en majorités des mammifères (nid 17-6 et nid 17-15). Dans d'autres cas, les proportions entre les différentes classes sont plus équilibrées (nid 18-14) (figure 4).

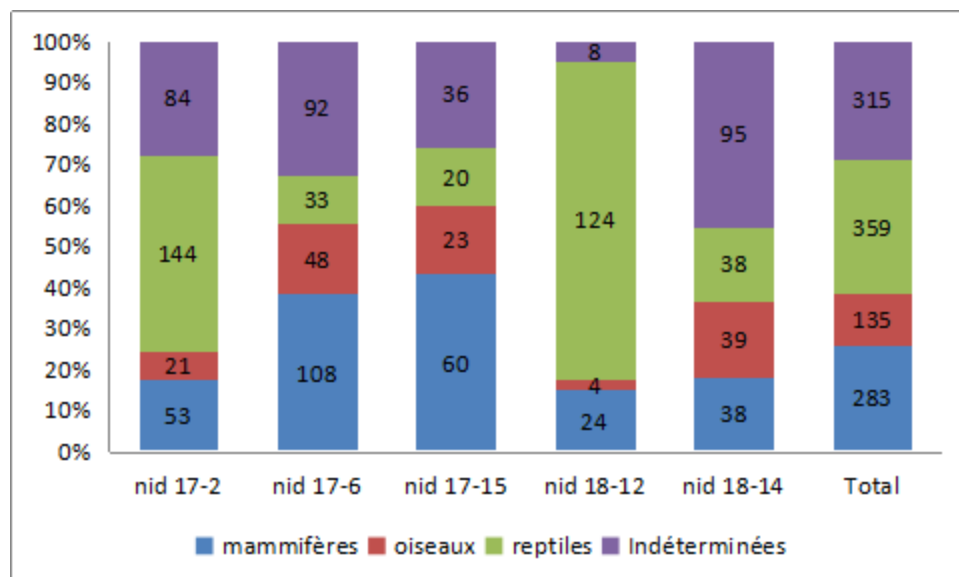


Figure 4 : Type de proies consommées (en %) en fonction des nids suivis



Parmi les nids suivis par vidéosurveillance, quatre contenaient 2 poussins et 2 n'en contenaient qu'un. La durée de suivi varie entre 26h et 862h. Le nombre de proies détectées par heure de suivi oscille entre 0,33 et 0,65. Étonnamment, ce n'est pas le nid suivi le plus longtemps qui présente le plus grand nombre de proies détectées. Concernant la biomasse moyenne des proies identifiées apportées au nid, elle varie entre 90 g et 140 g (tableau 3).

	Nid 15-14	Nid 17-2	Nid 17-6	Nid 17-15	Nid 18-12	Nid 18-14
Nb de jeunes	1	2	2	2	1	2
Durée du suivi (heures)	26	559	862	229	250	394
Nb proies	17	302	281	140	160	210
Ratio proies/durée	0,65	0,54	0,33	0,61	0,64	0,53
Nb proies identifiées	14	199	145	82	151	73
Equivalent biomasse (g)	1346	27869	17976	7403	16743	8188
Ratio biomasse/proies	96	140	124	90	111	112

Tableau 3 : Indices de nourrissage en fonction des nids suivis avec la méthode de vidéosurveillance

On observe alors que le ratio de proie apportée au nid par heure décroît avec l'augmentation de la biomasse moyenne des proies, ainsi les individus semblent être en mesure de faire plus d'apports de proie lorsque les proies sont en moyenne plus petites (Figure 5).

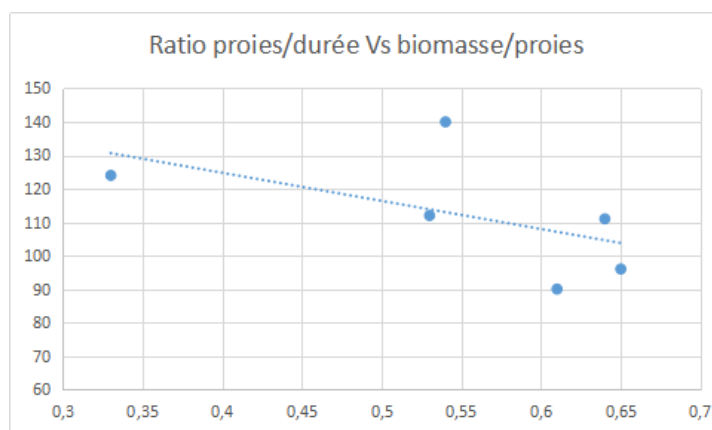


Figure 5 : Ratio du nombre de proies moyen apportées par heure en relation avec la masse moyenne des proies (abscisse proie/heure, ordonnée biomasse moyenne)

La biomasse consommée se répartie essentiellement entre les mammifères et les reptiles. Sous cet angle là, les mammifères représentent 55% de la biomasse ingérée par les busards, les reptiles 43% et les oiseaux 2%. Notons que chez ces derniers, la détermination jusqu'à l'espèce est très difficile et par conséquent, l'estimation de leur biomasse est faiblement représentée (figure 6).

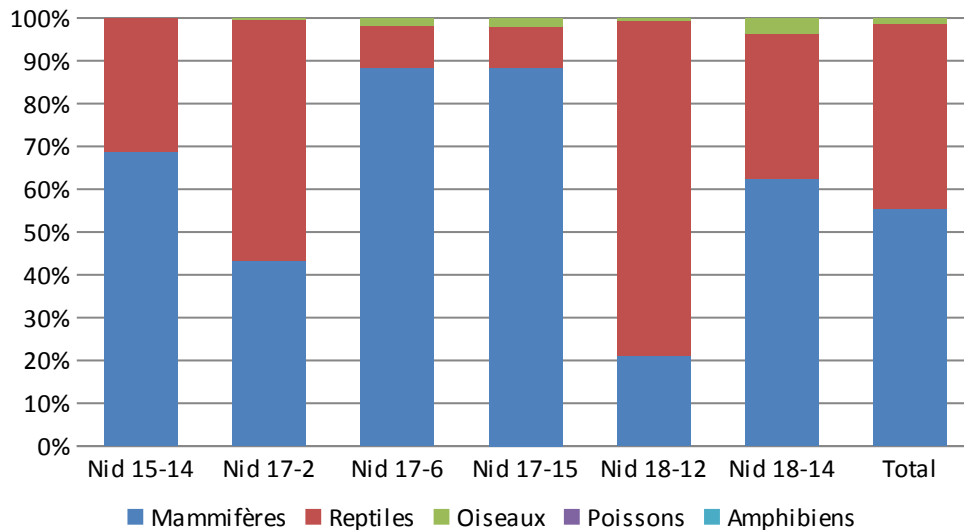


Figure 6 : Biomasse consommée (en %) en fonction des nids suivis. n total=844

Si l'on regroupe l'ensemble des proies par classe, globalement l'espèce semble se nourrir en premier lieu de reptiles (33%) puis de mammifères (26%) et d'en une moindre mesure d'oiseaux (12%) (figure 7). Cependant, il est important de nuancer ces résultats car de l'ensemble des nids suivis près de 29 % des proies apportées au nid n'ont pu être déterminées.

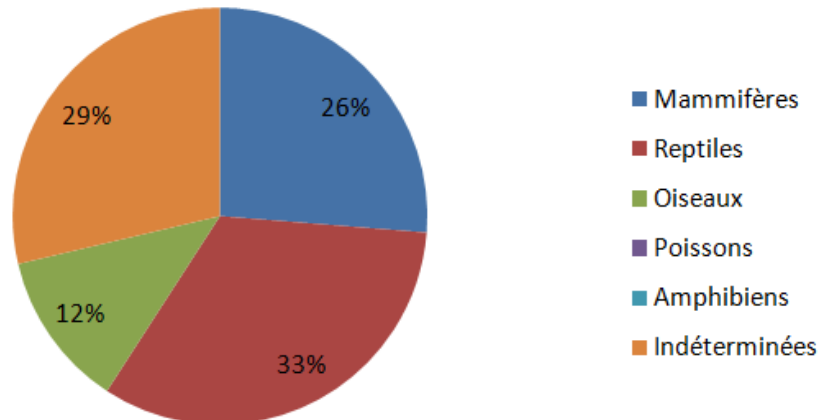


Figure 7 : Régime alimentaire du Papangue selon la méthode du piège photo. Regroupement des proies selon leur classe. n=1110

### 3.3 Observations issues de faune-reunion.fr

L'export de la base de données de faune-réunion.fr contenait 3515 observations de Busard de Maillard au 06/06/2019. Parmi elles, 34 relatent de l'observation et de l'identification d'une proie en train d'être transportée ou consommée.

Selon cette méthode, la moitié de l'alimentation du Papangue est constituée de mammifères (53%). Les oiseaux représentent la deuxième source de nourriture (26%) suivi des poissons (12%) et dans de faibles proportions de reptiles (3%) et d'amphibiens (3%), les proies indéterminées ne représentent que 3 % des observations (figure 8).

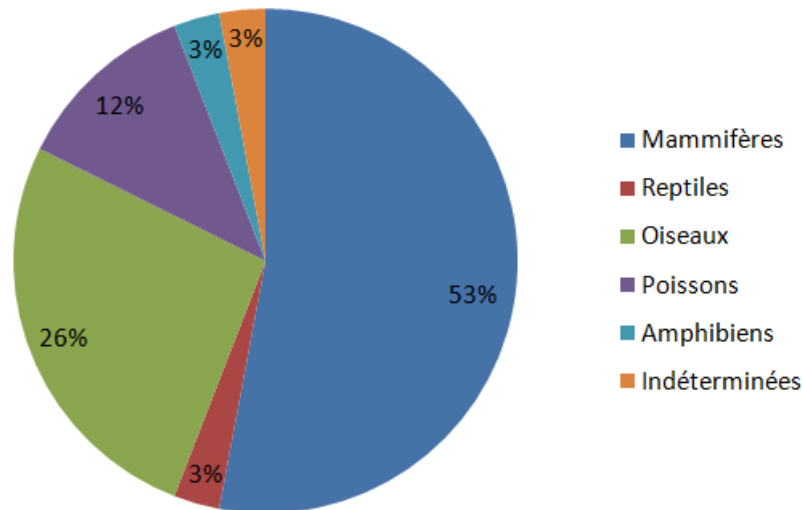


Figure 8 : Régime alimentaire selon la méthode des observations indirectes. Proies regroupées par classe. n=34

### 3.4 Restes de proies

Les visites réalisées sur les nids ont permis d'observer 24 restes de proies. En les regroupant selon leur classe d'appartenance, le régime alimentaire du Papangue est constitué à proportion presque égales de mammifères (34%), de reptiles (29%) et d'oiseaux (29%). Les poissons ne représentent qu'une part minoritaire de leur alimentation (4%) (figure 9).

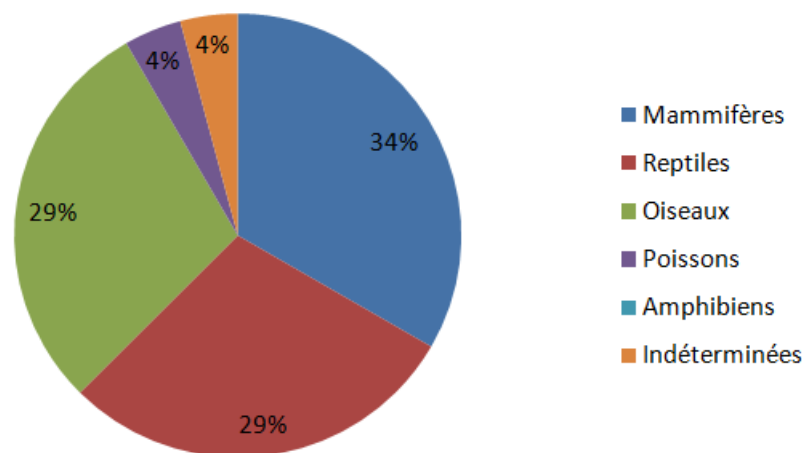
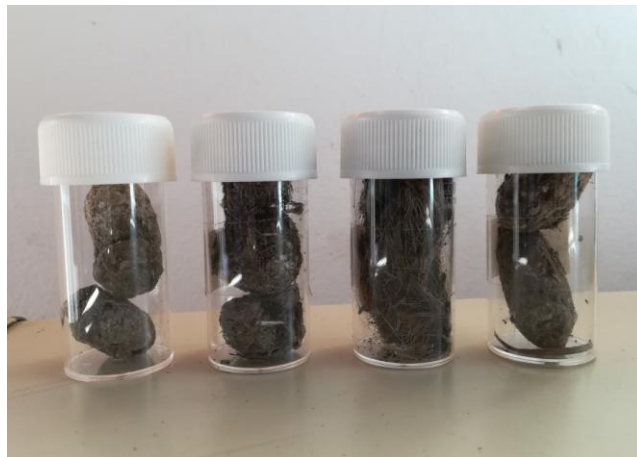


Figure 9 : Régime alimentaire selon la méthode des observations directes. Proies regroupées par classe. n=24

### 3.5 Collecte et dépouillage des pelotes de réjection

Au cours des différents suivis mis en place lors du programme ECoPap, 33 pelotes de réjection de busard ont été collectées. Ces pelotes ont été trouvées sur des nids où à proximité de perchoirs. Un échantillon de 8 pelotes récoltées dans les années antérieures au programme porte à 42 la taille de l'échantillonnage.

Le dépouillage de ces pelotes n'a encore pas été réalisée, une validation de partenaires spécialisés dans l'identification est actuellement en cours et une analyse est prévue pour fin de l'année 2019.



### 3.6 Collecte et analyse des plumes

Au total, 169 échantillons ont été récoltés. Les proies ont été collectées dans la partie est de l'île de La Réunion, sur les communes de Sainte-Marie, Sainte-Suzanne, Saint-André et Bras-Panon. En parallèle, 53 échantillons de proie ont été récupérés appartenant à 24 taxons différents.

Afin d'éviter un biais engendré par les variations de signatures isotopiques dans le temps et l'espace, seules les plumes collectées dans la même période et dans la même zone que les proies capturées ont été analysées. Cela représente un échantillon de 40 plumes collectées entre 2018 et 2019 dans l'est de l'île.

#### 3.6.1 Position de la niche trophique du busard sur l'axe d13C/d15N

Dans un premier temps, la position de la niche trophique des busards sur l'axe d13C/d15N a été étudiée (figure 10). Elle est ainsi délimitée par des polygones convexes et leur centre est représenté par une ellipse. Ainsi, on remarque que les individus de sexe, d'âge et de stade de mue différents partagent des niches écologiques similaires, bien que la gamme de proie semble plus importante chez les mâles (figure 10 a, b et d). En revanche, on remarque une

influence de la localisation des échantillons par busard sur la position de la niche trophique (figure 10c).

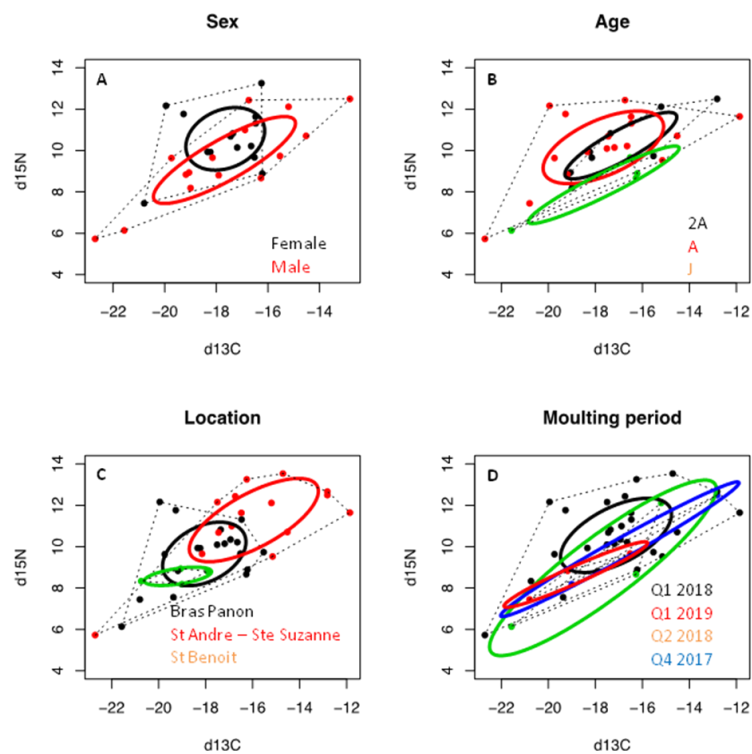


Figure 10 : Représentation de la niche trophique en fonction du sexe, de l'âge, de l'origine des Papangues ou de la période de la mue.

Les résultats ne présentent pas de différence significative sur les valeurs du  $\delta^{13}C$  et du  $\delta^{15}N$  selon le sexe, l'âge et le stade de mue (Figure 11). A l'inverse une différence significative est observée selon l'origine des plumes de Papangues, avec un gradient nord-sud sur les valeurs de  $\delta^{13}C$  et de  $\delta^{15}N$ , avec Saint-André/Saint-Suzanne → Bras-Panon → Saint-Benoît.

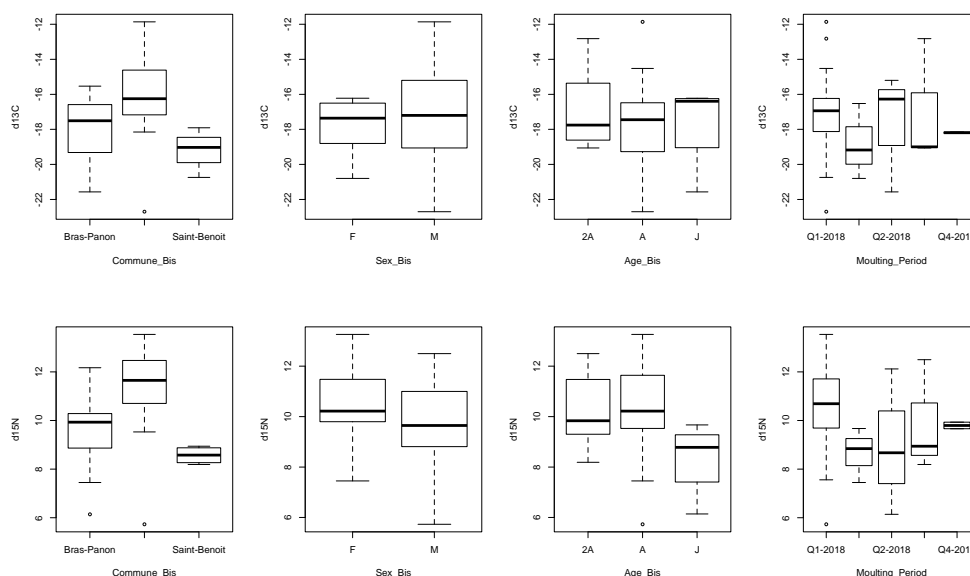


Figure 11 : Variation des valeurs isotopiques d13C et d15N en fonction de la commune d'origine, du sexe, de l'âge ou de la période de la mue.

### 3.6.2 Position des proies sur l'axe d13C/d15N

Afin de décrire plus précisément le régime alimentaire du busard, les proies capturées ont été classées en plusieurs catégories : les « mammifères », les « reptiles/amphibiens », les « oiseaux granivores/insectivores », les « oiseaux granivores », et les « oiseaux nectarivores ». Les positions relatives des catégories de proies sur l'axe d13C/d15N sont présentées sur la figure 12.

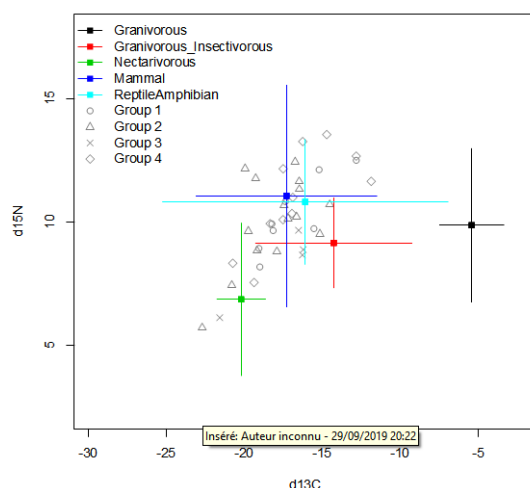


Figure 12 : Représentation des valeurs isotopiques d13C et d15N en fonction des cinq groupes de proies.

### 3.6.3 Contribution des catégories de proies au régime alimentaire du prédateur

Dans cette partie, nous avons étudié le régime alimentaire à l'échelle de l'ensemble des communes échantillonnées : de Sainte-Suzanne à Saint-Benoît. Nous présentons dans un premier temps une analyse globale, sans prise en compte des contraintes liées au fait que la ressource n'a pu être échantillonnée sur l'ensemble des sites, ce qui induit potentiellement des erreurs dans les estimations des contributions relatives de chaque catégorie dans le régime alimentaire du Papangue (Figure 13). Nous observons que les mammifères, les reptiles/amphibiens et les oiseaux insectivores/nectarivores, sont les plus consommés par le rapace, bien que des différences locales soient fortement attendues.

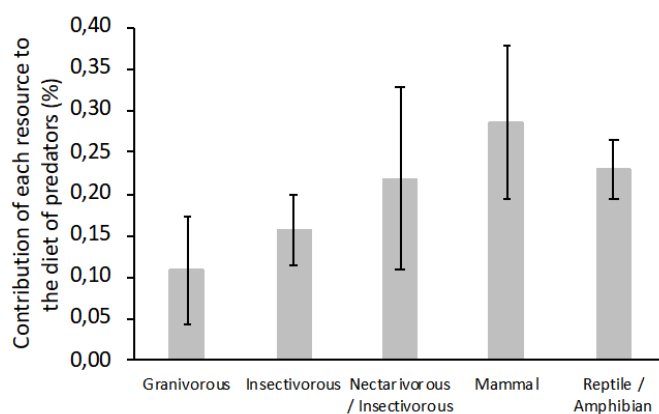


Figure 13 : Présentation des contributions de chaque ressource dans le régime alimentaire.

Cependant, pour nous permettre de mieux investiguer le régime alimentaire de l'espèce, comme l'ensemble des proies n'ont pu être échantillonnées sur tous les sites, nous avons choisi de restreindre les catégories de proies et comme les valeurs isotopiques des reptiles/amphibiens étant trop proches de celles des mammifères, elles n'ont pas été prises en compte dans les analyses ultérieures. De plus, les « oiseaux granivores » n'ont pas été pris en compte car la différence significative de valeur de leur  $\delta^{13}C$  avec les autres catégories de proies pourrait engendrer un biais (Figure 12). Ainsi, à l'échelle des trois sites et en prenant en compte les catégories de proies, les « mammifères », les « oiseaux granivores/insectivores » et les « oiseaux nectarivores » les mammifères représentent une source de nourriture significativement plus importante que les oiseaux granivores/insectivores. Cette différence n'est cependant pas détectée entre les mammifères et les oiseaux nectarivores et entre les oiseaux granivores/insectivores et les oiseaux nectarivores (figure 14).

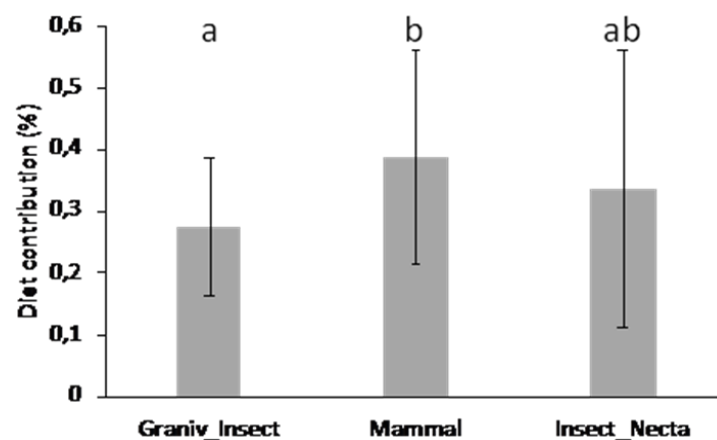


Figure 14 : Contribution des différentes catégories de proies dans le régime alimentaire du Papangue.

### 3.6.4 Effet de l'âge, du sexe et de la localisation des busards sur leur régime alimentaire

Les analyses se poursuivent en étudiant l'effet de l'âge, du sexe et de la localisation des busards sur la contribution des trois catégories de proies suivante : les « mammifères », les oiseaux « granivores/insectivores » et les oiseaux « insectivores ». Les résultats du modèle sont présentés dans le tableau 4.

		Grani/Insect		Insect/Nect		Mammal	
Response	df	Chisq	P	Chisq	P	Chisq	P
Commune	2	1.13	0.569	8.01	<b>0.018</b>	11.64	<b>0.003</b>
Sex	1	0.58	0.446	0.79	0.374	3.84	<b>0.050</b>
Age	2	0.79	0.673	1.24	0.537	2.59	0.273

Tableau 4. Tableau synthèse de l'effet des variables commune, sexe et âge dans la proportion de chaque catégorie de ressource dans le régime alimentaire du Papangue.

Concernant l'âge des busards, celui-ci ne semble pas avoir d'influence sur la contribution de chaque catégorie de proies (figure 15).

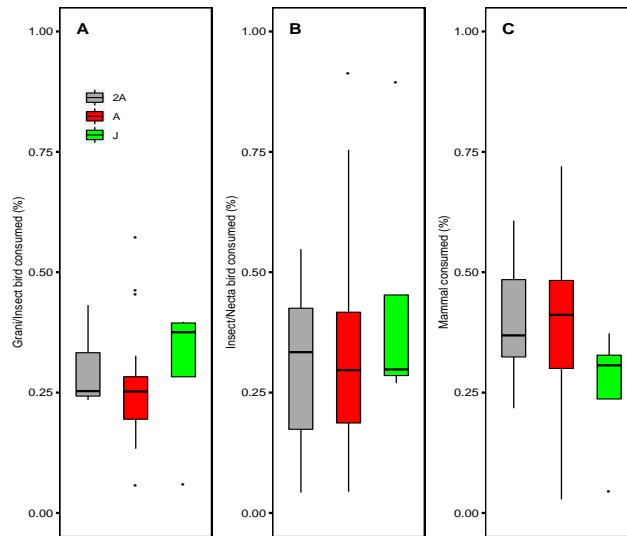


Figure 15 : Contribution des différentes catégories de proies dans le régime alimentaire du Papangue en fonction de l'âge.

Concernant leur **sexe**, on observe un effet faiblement significatif sur la consommation de mammifères, avec une plus forte consommation chez les femelles que les mâles. Ces derniers semblent, de leur côté, avoir un régime alimentaire plus variable (figure 16).

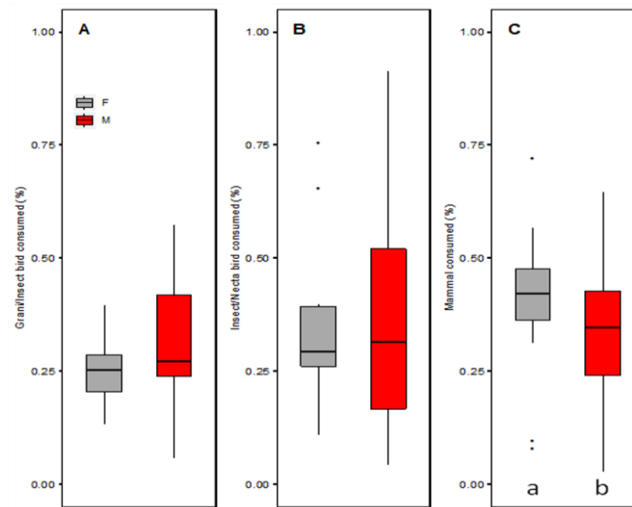


Figure 16 : Contribution des différentes catégories de proies dans le régime alimentaire du Papangue en fonction du sexe.

Concernant la **localisation**, un effet est détecté sur la consommation d'oiseaux insectivores/nectarivores et de mammifères. Les oiseaux insectivores/nectarivores sont davantage consommés sur Saint-Benoît que sur Saint-André/Sainte-Suzanne mais aucune différence n'est détectée entre ces deux localisations et Bras-Panon (figure 17b).



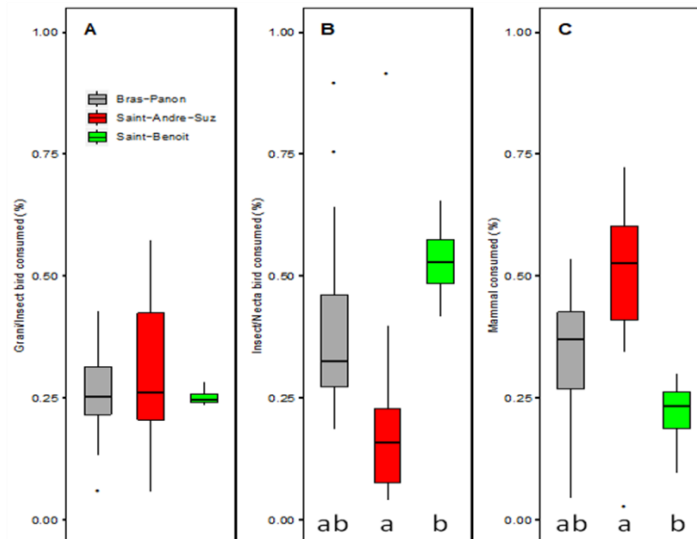


Figure 17 : Contribution des différentes catégories de proies dans le régime alimentaire du Papangue en fonction de la commune d'origine.

A l'inverse, la proportion de rats consommés est significativement plus importante sur les communes Nord de Saint-André/Sainte-Suzanne que sur Saint-Benoît (figure 16c).

### 3.7 Collecte et analyse des fientes

Les fientes ont été collectées sur des individus capturés ou trouvées de manière opportuniste sur les nids suivis. Au total, 61 échantillons ont été récoltés. Les échantillons de proies ont été collectés sur l'ensemble de l'île de La Réunion. Au Total, 79 échantillons de proie ont été récupérés appartenant à 37 taxons.

Les produits PCR 18S sont en attente de séquençage au Centre de Séquençage de l'Université d'Oslo (<https://www.sequencing.uio.no>) avec une prochaine session de séquençage prévue pour le mois de novembre. Les amorces 12S Vertébrés ont été commandées, les amplifications par PCR et la préparation pour séquençage seront réalisées au mois d'octobre. Ces échantillons seront rajoutés au cycle de séquençage prévu pour le mois de novembre. Toutes les séquences devraient être rendues disponibles avant la fin de l'année selon le calendrier du Centre de Séquençage. Les séquences brutes seront traitées avec outils bioinformatiques OBITools disponible localement. Les données brutes et analysés seront archivées sur le serveur de l'Université d'Oslo (<https://www.uio.no/english/services/it/research/hpc/abel/>). Toutes les séquences traitées seront analysées statistiquement en utilisant le package ROBITools (<https://git.metabarcoding.org/obitools/ROBITools>), adapté à l'analyse de large jeux de séquences. Les premiers résultats devront être disponibles durant la période de janvier-février 2020. Les résultats devront permettre d'estimer le spectre complet du régime alimentaire du Papangue ainsi que la fréquence d'occurrence de différents groupes de proies au sein de la population (i.e. amphibiens, reptiles, rongeurs, etc.). Toutefois, ces résultats seront fortement dépendants de la résolution taxonomique des marqueurs 18S et 12S pour les proies en question ainsi que de la proportion d'ADN de Papangue co-amplifié de façon accidentelle avec l'ADN des proies.

Les amorces spécifiques aux rongeurs (Pro+/MicoMico) ont été commandées et les amplifications par PCR diagnostique seront réalisées au mois d'octobre. La visualisation des résultats se fera par migration sur un gel d'électrophorèse permettant d'accéder aux résultats finaux immédiatement après visualisation. Afin de contrer l'occurrence de faux positifs ou faux négatifs, trois replicats de PCR seront réalisés par échantillon. Un double contrôle sera réalisé en séquençant un sous-échantillon aléatoire des produits PCR avec la technologie Sanger permettant de confirmer de façon rapide l'amplification de l'ADN de rongeurs à partir des fientes de Papangues. Les résultats devront permettre d'estimer la fréquence d'occurrence des proies de rongeurs consommés par le rapace.

## 4 DISCUSSION

---

### 4.1 Utilisation de pièges photo pour évaluer le régime alimentaire du Papangues

Il s'agit, de loin, de la méthode qui nous a permis d'acquérir le plus de données sur les proies consommées par les Papangues malgré le faible nombre de nids suivis ( $n=6$ ). En effet, il n'a pas été évident de disposer des pièges photo à proximité des nids des oiseaux. Dissimulés au milieu de la végétation, souvent sur de fortes pentes, l'installation discrète des pièges photo à proximité est parfois complexe, et la végétation a pu à de nombreuses reprises masquer le champ de la caméra, suite aux mauvaises conditions météorologiques. Qui plus est, le dispositif, une fois accepté par les couples offre un perchoir temporaire aux individus qui, en s'y installant, désorientent la caméra. Le mauvais succès reproducteur des couples suivis sur la zone atelier de Bras-Panon, et ce indépendamment des nids suivis par pièges photo, a engendré une modification de la stratégie de suivi des nids, et n'a pas permis de suivre d'avantage de nid.

L'avantage de cette méthode est qu'elle nous a permis d'acquérir un nombre conséquent d'images de proies apportées au nid, cependant, il n'a pas toujours été évident d'identifier chacune d'elles. Les raisons pour lesquelles l'identification n'a pu se faire sont multiples : la proie peut-être masquée par l'adulte, le jeune ou la végétation lors de sa consommation, consommée hors du champ de la caméra, déchiquetée entre les serres des oiseaux mais aussi de trop petite taille, etc. D'autres facteurs techniques tels que la présence d'humidité sur l'objectif de la caméra, le manque de luminosité ou au contraire une surexposition de l'image n'ont pas aidé à l'identification des proies. Ces contraintes correspondent à celles enregistrées (García-Salgado et al. 2015). Quand bien même la détermination a pu être réalisée, nous avons remarqué grâce à une identification à l'aveugle des proies par différents observateurs, que celle-ci variait parfois en fonction de l'observateur.

Certains types de proies ont été plus facilement identifiables que d'autres. C'est le cas des reptiles dont la couleur et la forme sont assez caractéristiques selon les espèces. A contrario, l'identification des oiseaux a été beaucoup plus complexe car ils sont généralement plumés par les adultes avant d'être apportés au nid. Sans les caractéristiques de plumage, les espèces sont difficilement identifiables.

Cette méthode nous renseigne sur les proies apportées au nid par les adultes mais n'informe pas sur le régime des jeunes après l'envol. En effet, il est possible que le régime varie selon le stade de la vie des oiseaux, comme cela semble apparaître au vu des données isotopiques entre les jeunes et les individus de plus de deux ans. Un jeune, tout juste émancipé, se nourrira peut-être de proies les plus accessibles localement et/ou développera d'avantage son comportement charognard, voir adoptera un comportement de chasse opportuniste. Les données, ici à l'échelle du nid, nous fournissent une vision du régime alimentaire durant la période de reproduction.

Selon cette méthode, les reptiles représenteraient une part importante (33%) du régime alimentaire du rapace, bien que cette proportion varie fortement entre les nids. L'augmentation de cette part peut aussi être liée à une présence localement plus importante des reptiles, et/ou des espèces plus facilement accessible que d'autres, comme le caméléon panthère et l'agame arlequin qui à eux deux

constituent l'essentiel des proies de cette classe. En prenant en compte que près de 30 % des proies apportées au nid n'a pu être identifié, les mammifères représentent la seconde ressource pour l'espèce (26%). Il s'agit essentiellement des rats noirs et surmulots, de la souris domestique et de la musaraigne. Le tenrec n'apparaît finalement pas comme une espèce fréquemment consommée par les jeunes. Les proies de type poisson ou amphibien sont complètement absentes de leur régime alimentaire ou alors non identifiable par le biais de cette méthode.

Comme cela a été noté, on remarque une grande variation dans les proportions par classe de proie consommée en fonction des nids. Il est fort probable que le régime de l'espèce soit affecté par la présence d'une ressource locale, voir son abondance ou son accessibilité (exemple : nid 17-2 vs nid 17-6 et nid 18-12 vs nid 18-14). Toutefois, on constate que deux nids situés à proximité d'une année sur l'autre peuvent présenter des différences importantes en termes de proies apportées (nid 17-6 et nid 18-12). Il pourrait y avoir là un effet lié à la dynamique des populations de la ressource, pouvant varier dans le temps, seulement peu d'études s'intéressent aux espèces exotiques (principales ressources pour l'espèce) présentes à La Réunion, ce qui ne nous permet pas de conclure. Une autre hypothèse peut être émise, le mâle étant le principal pourvoyeur de proie lors de l'élevage des oiseaux, le régime alimentaire observée serait alors le fruit des compétences de chasse du mâle, potentiellement spécialisé pour certaines espèces selon son expérience et/ou lié à un accès à certaines proies préférentielles dépendant des milieux de chasses qu'il utilise plus particulièrement au sein de son domaine vital.

## **4.2 Utilisation des observations de faune-reunion.fr pour évaluer le régime alimentaire du Papangue**

Contrairement à la méthode précédente, celle-ci permet d'observer les proies ingérées par les Papangue quelque soit le contexte (en ou hors période de reproduction). Elle permet l'observation de proies difficilement transportables (charogne) où dont le transport engendrerait un coup physiologique trop important pour les individus. Notons que l'échantillonnage beaucoup plus large de cette méthode permet d'observer la consommation de proies que l'on n'observait ou n'identifiait pas dans la méthode précédente, avec par exemple, la consommation d'amphibien et de poisson.

L'observation de transports/consommation de proies par un Papangue reste un phénomène rare et éphémère ce qui explique le faible nombre d'observations renseignées dans la base de données de faune-reunion.fr. Elle nécessite, la plupart du temps, l'utilisation d'outils optiques (jumelle/longue-vue) pour confirmer l'espèce prédatée et une certaine expérience pour son identification (connaissance des critères de reconnaissances). Ainsi, les espèces transportées seront plus facilement identifiables si elles sont de tailles raisonnables.

## **4.3 Utilisation des pelotes pour évaluer le régime alimentaire du Papangue**

Cette méthode est l'une des moins invasives pour étudier le régime alimentaire de l'espèce. Elle permet d'obtenir une information qualitative sur les proies consommées par le busard et une abondance relative de proie par pelote. Cependant, il est important de noter que toutes les proies ne

sont pas détectables, ainsi une proie est identifiable uniquement si elle présente des parties non digérables ingérées par le rapace (poils, petits ossements, écailles). Si la proie consommée est de forte taille, telle *tenrec ecaudatus*, et que ni peau (poils), ni ossements ne sont consommés, alors celle-ci n'est pas détectable. La combinaison de cette méthode avec les autres méthodes est donc préférable.

#### **4.4 Utilisation des isotopes pour évaluer le régime alimentaire du Papangue**

Cette méthode apporte des informations quantitatives sur le régime alimentaire du Papangue mais reste assez imprécise sur l'aspect qualitatif. Dans notre cas d'étude cette méthode nous permet d'identifier la proie à l'échelle de la classe mais au vu d'un manque important de proies récoltées sur l'ensemble des sites et d'une connaissance préalable des espèces les plus consommées, il est impossible d'obtenir une précision à l'échelle de l'espèce.

Malgré le nombre important d'échantillons de plumes de Papangue collectées, seule une partie 24% de ces échantillons a pu être analysée. Ceci est lié au fait que nous n'avons pas été en mesure d'acquérir des échantillons de proies sur l'ensemble des sites de prélèvements de plumes de Papangue. Si comme le Busard de Maillard, le prédateur a un régime alimentaire relativement varié, l'acquisition d'échantillons de proie nécessitera beaucoup de moyens. Cette méthode présente donc deux contraintes importantes pour la réalisation des analyses : une contrainte de temps et la contrainte du spatial. En effet, quand bien même un échantillonnage de potentielles proies est effectué en parallèle de l'échantillonnage du prédateur, ce dernier doit être réalisé pendant la même période et sur la même zone. Autrement, les signatures isotopiques des proies risquent de varier dans l'espace et dans le temps, ce qui rendra l'analyse des niches trophiques complexe voir potentiellement impossible. L'acquisition de proies n'ayant, dans notre cas, été réalisée qu'à l'est de La Réunion et sur une courte période, nous n'avons pu analyser que les échantillons de busards collectés sur la même zone et sur une période réduite.

Concernant les résultats des analyses, ils témoignent d'une part non négligeable de mammifères (essentiellement des rats) dans le régime alimentaire du Busard de Maillard. Il n'a malheureusement pas été possible de déterminer sur chaque site la contribution relative de chaque classe de proies dans le régime alimentaire du Papangue. Cependant, les estimations globales, bien que à prendre avec des pincettes, additionnées aux estimations sur un jeu de donnée restreint à trois classes de proies, atteste de la proportion importante de rongeurs dans le régime alimentaire de l'espèce. De façon plus générale, lorsque l'on s'intéresse au contexte d'habitat entre les trois grands sites étudiés, il semble se dégager une tendance en termes d'occupation des sols entre le secteur nord et celui du sud. En ce sens, on observe une augmentation de la part des mammifères dans le régime alimentaire au sein d'une zone composé d'habitats plus agricoles et anthropisés au nord (Figure 18). A l'inverse plus le contexte d'habitat intègre une proportion de milieux naturels important plus la part en oiseaux nectarivores et insectivores est importante, cas de Saint-Benoît plus particulièrement.

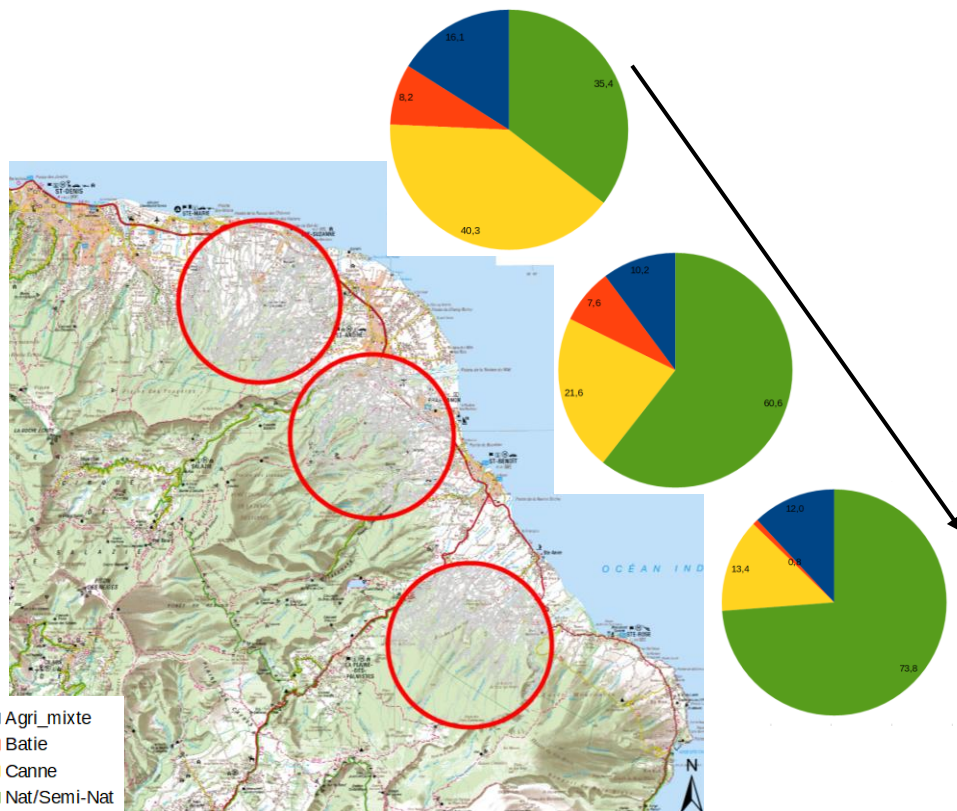


Figure 18 : Carte des trois zones d'échantillonnages pour les analyses isotopiques, en lien avec l'occupation des sols pour chaque zone (centroïde des buffers correspond aux sites de captures principaux, une distance de 5000m de rayon a été utilisée ici pour caractériser l'OCS des sites)

#### 4.5 Comparaison du régime alimentaire du Busard de Maillard avec celui d'autres espèces de busards de la région

A l'inverse de son cousin malgache, le Busard de Maillard ne mange pas ou faiblement, tout du moins avec les méthodes d'échantillonnages utilisées des insectes. Selon une étude de 2000, le Busard de Madagascar, *Circus macrocesles*, consommait 36% d'insectes, 34,5% de reptiles, 27,5% d'oiseaux et 2% de mammifères. De Roland (2004) obtenait des résultats similaires en appliquant la même méthode quatre années plus tard (48 % d'insectes, 27 % de reptiles, 22 d'oiseaux et 3 % de mammifères) (De Roland 2004). Ces études se sont basées sur des observations directes d'apports de proies et sur le ramassage de proies et des pelotes de régurgitation (Randriamanga 2000). Une autre étude à cette fois ci évalué le régime alimentaire du Busard de Maure *Circus maurus* en étudiant la composition des pelotes réjections et a montré qu'il était composé de 64,4% de petits mammifères de 19,2% d'oiseaux, 16,3% de reptiles (Garcia-Heras et al. 2017). La combinaison de plusieurs méthodes est toutefois conseillées afin d'éliminer les biais inhérents à chacune d'elles (Margalida, Bertran, et Boudet 2005; Simmons 1991).

## 5 CONCLUSION

Le régime alimentaire du Papangue a été déterminé sur la base des 4 premières méthodes utilisées dans le cadre du programme Feder EcoPap. Globalement l'ensemble des classes de proies ont été observées en analysant les données d'observations issues de faune-réunion et les restes de proies au nid (Tableau 5). Sur les 4 méthodes pour lesquelles nous avons eu les résultats, toutes présentent les catégories de proies mammifères, reptile/amphibiens et oiseaux comme les principales présentes dans le régime alimentaire du Papangue. Indépendamment de fortes variations locales observées dans le régime alimentaire, si nous évaluons la contribution moyenne de chaque classe basée sur l'ensemble des méthodes, les mammifères sont présents à 35 %, les oiseaux à 29 %, les reptiles/amphibiens à 22,5 % et de poissons à hauteur de 5 %.

Classe	Piège photo (1110)	Restes de proies (25)	Observations issues de faune-réunion (34)	Pelote (32)	Metabarcoding (61)	Isotopes (40)
Mammifères	26 (290)	32 (8)	53 (18)	A venir	A venir	29
Reptiles/amphibiens	33 (366)	28 (7)	6 (2)	A venir	A venir	23
Oiseaux	12 (135)	28 (7)	26 (9)	A venir	A venir	49
Poissons	0 (0)	4 (1)	12 (4)	A venir	A venir	-
NA	29 (319)	8 (2)	3 (1)	A venir	A venir	-

*Tableau 5: Part (en %) des différentes classes de proies consommées par le Papangue selon la méthode d'estimation utilisée. Estimation basée sur l'occurrence des proies.*

L'espèce apparaît extrêmement plastique à son environnement, privilégiant certaines proies à d'autres, en fonction des caractéristiques d'habitats locales qui permettent l'accès à des proies plus accessibles ou présentent en abondance plus importante. De surcroît, certaines ressources semblent apparaître de façon opportuniste dans le régime, comme cela est le cas avec la consommation de poissons, qui résulte en grande partie de la présence de zones d'aquacultures regroupant sur de petites surfaces une forte abondance de poisson facilement accessible. La consommation d'espèces d'élevage (poulet/canard) est ici non détectée, soit en partie difficilement détectable avec les méthodes utilisées, soit que cette ressource est consommée de façon extrêmement localisée, comme cela est le cas pour la ressource poisson, parce que facile d'accès. Au final, le Busard de Maillard s'alimente en grande partie de rongeurs, et il est fort envisageable que cette part dans le régime alimentaire soit dépendant de son abondance locale ou de son accessibilité comme cela semble être le cas au sein de milieux agricoles et anthropisés et sous-entendu dans le cadre de cette pré-analyse (Figure 18). Ces résultats sont en adéquation avec les risques d'empoisonnements secondaire, où une forte proportion de la population de Papangue est exposée aux pesticides suite à la consommation de rongeurs, de façon plus importante dans des contextes paysagés plus agricoles et urbanisés comme cela a été mis en évidence dans l'analyse ecotoxicologique (Coourdassier et al, 2019).

## 6 BIBLIOGRAPHIE

---

- BIRDLIFE INTERNATIONAL 2016. *Circus maillardi*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2016 : e.T22728310A94979400. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-3.RLTS.T22728310A94979400.en>. Downloaded on 04 October 2019.
- BRETAGNOLLE V., GHESTEMME T., THIOLLAY J.-M. & ATTÍÉ C., 2000b. – Distribution, population size and notes on the Réunion Marsh Harrier, *Circus maillardi maillardi*. *Journal of Raptor Research*, 34(1): 8-17.
- CACERES S., JASMIN J.N., & SANCHEZ M., 2018 – « Observation d'une proie inédite chez le Busard de Maillard *Circus maillardi* J. Verreaux, 1862 (Accipitriformes : Accipitridae) ». *Cahiers scientifiques de l'océan Indien occidental*, n°9 : 4.
- CLOUET M., 1978. – Le Busard de Maillard *Circus aeruginosus maillardi* de l'île de la Réunion. *L'Oiseau et la Revue Française d'Ornithologie*, 48 : 95-106.
- DE ROLAND R., 2004 – Nestling biology and diet of Madagascar harrier. *The raptor Research Foundation, Inc.*, n°38 : 256-262.
- ERRINGTON P. L. 1930. The Pellet Analysis Method of Raptor Food Habits Study. *The Condor* 32 (6) : 292-296.
- GARCIA-HERAS M. S., MOUGEOT F., ARROYO B., AVERY G., AVERY M., & SIMMONS R. E., 2017. Is the Black Harrier *Circus Maurus* a Specialist Predator? Assessing the Diet of a Threatened Raptor Species Endemic to Southern Africa ». *Ostrich* 88 (1) : 1-8.
- GARCIA-SALGADO G., REBOLLO S., PEREZ-CAMACHO L., MARTINEZ-HESTERKAMP S., NAVARRO A., & J. FERNANDEZ-PEREIRA J. M., 2015. - Evaluation of Trail-Cameras for Analyzing the Diet of Nesting Raptors Using the Northern Goshawk as a Model. *PLOS ONE* 10 (5) :
- GILOUX Y., GRONDIN V. & SALAMOLARD M., 2013. – Reunion harrier, *Circus maillardi*, Busard de Maillard :277-279. In Safford R.J. & Hawkins A.F.A. (eds) *The birds of Africa. Volume VIII: The Malagasy region*. Christopher Helm, London.
- GRONDIN V. & PHILIPPE J.S., 2011. – Plan de conservation du Busard de Maillard (*Circus maillardi*). SEOR et BIOTOPE pour la DEAL, la Région Réunion, Aéro Watt et la Ville de l'Étang - Salé, 81p. (et atlas cartographique).
- JAEGER A. 2011. Etude isotopique des variations saisonniers et à long terme de l'écologie alimentaire des oiseaux marins de l'océan austral ». *Thèse*, 207p.
- JAEGER A., BLANCHARD P., RICHARD P., & CHEREL Y., 2009. Using Carbon and Nitrogen Isotopic Values of Body Feathers to Infer Inter- and Intra-Individual Variations of Seabird Feeding Ecology during Molt. *Marine Biology* 156 (6): 1233-40.
- KELLY J. F. 2000. - Stable Isotopes of Carbon and Nitrogen in the Study of Avian and Mammalian Trophic Ecology. *Canadian Journal of Zoology* 78 (1): 1-27.
- MAILLARD L. 1863. - Maillard 1863 - Notes sur l'île de La Réunion (Bourbon) ». Paris.
- MAILLOT D. & BARET S., 2017. – Identification d'une nouvelle proie du Busard de Maillard (*Circus maillardi*) : observation d'une capture de poisson au niveau du site de Grand-Étang sur l'île de La Réunion (Accipitriformes : Accipitridae). *Cahiers scientifiques de l'océan Indien occidental*, 8 : 1-4.
- MARGALIDA A., BERTRAN J., & BOUDET J., 2005. - Assessing the Diet of Nestling Bearded Vultures: A Comparison between Direct Observation Methods. *Journal of Field Ornithology* 76 (1): 40-45.
- MOURER-CHAUVIRE C., BOUR R., RIBES S. 2004. - The taxonomic identity of *Circus alphonsi* (Newton & Gadow 1893), the extinct harrier from Mauritius. *British Ornithologist's Union, Ibis* 146 : 168-172.
- POKROVSKY I. G. 2012. - A Method of Stable Carbon and Nitrogen Isotope Analysis in Assessment of the Diet of Birds of Prey. *Biology Bulletin* 39 (7): 590-92.
- PROBST J.-M., 1996. – Fiche «patrimoine naturel à protéger» : La Papangue ou Busard de Maillard. *Bulletin Phaethon*, 4 : 79-80.



- RANDRIAMANGA I., 2000. - Contribution à l'étude de la biologie de la reproduction et écologie de Busard de Madagascar *Circus macroscyles* dans le Tampoketsa d'Ankazobe. Mémoire de diplôme d'études approfondies de sciences biologiques appliquées, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar.
- REIF V. & TORNBORG R., 2006 - Using Time-Lapse Digital Video Recording for a Nesting Study of Birds of Prey. *European Journal of Wildlife Research* 52 (4): 251-58.
- SIMMONS R. E. 1991. - BIASES IN DIETS REMAINS: MAMMAL. *The Raptor Research Foundation, Inc.* 25 (3): 5.
- SWANN D. E., KAWANISHI K. & PALMER J., 2011. - Evaluating Types and Features of Camera Traps in Ecological Studies : A Guide for Researchers. In *Camera Traps in Animal Ecology*, edited by Allan F. O'Connell, James D. Nichols, et K. Ullas Karanth, 27-43. Tokyo: Springer Japan.