



Université de La Réunion - Faculté des Sciences et Technologies

Master 2 Biodiversité et ÉcoSystèmes Tropicaux - Année universitaire 2012-2013

RAPPORT DE STAGE

Écologie du Busard de Maillard

- sur les Hauts de la ville de Bras-Panon -



Papangues (Circus maillard) mâle et femelle

Bras-Panon, 10 mars 2013

Par Colombe Valette

Maître de Stage : François-Xavier Couzi
(Société d'Études Ornithologiques de La Réunion)

REMERCIEMENTS

Ce stage est celui dont j'avais rêvé, mais il ne se serait pas fait sans Matthieu Le Corre et François-Xavier Couzi. Je vous remercie pour ce sujet passionnant que vous m'avez proposé. De même je remercie la DEAL Réunion pour le financement de mon stage et pour son implication dans la conservation de l'avifaune réunionnaise.

À nouveau, je remercie mon maître de stage, François-Xavier Couzi, pour toutes les choses qu'il m'a apprises sur la conservation et la vie associative. Je te remercie pour ton support, ta bienveillance et ta confiance durant toute la durée de mon stage.

Je souhaite adresser mes sincères remerciements au Dr. Steve Augiron pour toute son aide et son investissement dans la réalisation de mon stage. Merci pour tout ce que tu m'as appris, ton implication, tes « blagues pour détendre l'atmosphère » et encore à peu près un million de choses.

Milles mercis à toute cette merveilleuse équipe de la Société d'Études Ornithologiques de La Réunion : son président André Fleurence, F-X, Paule (pour toute ta bienveillance à mon égard), mon super coloc' de bureau Nicolas (pour ton aide sur SIG et pour m'avoir supportée !). À l'équipe de la Roche Écrite : Damien pour tes conseils, Erwan pour ton aide précieuse sur les analyses, Jean-François pour ton aide dans la bonne humeur sur le terrain, et un très grand merci à Jerry pour l'aide considérable sur le terrain et dans l'échantillonnage. Je remercie les amies du CDS (centre de soin), Emilie et Julie, et de l'ERE (éducation à l'environnement), Florence et Manon, pour tous ces bons moments et ces fous rires... Enfin je vous remercie tous à nouveau pour votre contribution à cette ambiance plus qu'agréable à SEOR, votre amitié, votre complicité et tous ces bons moments, qui ont fait de mon stage une expérience vivante et chaleureuse.

Je remercie profondément tous les précieux bénévoles de la SEOR dont Nico, Harry, Katia, la Brigade Papangue, Max, Natacha, les membres du conseil d'administration ainsi que ces supers photographes que sont Laurent et Etienne Brillard, Gilles Adt, Yabalex, Jean-Noël Jasmin et Serge Garnier pour m'avoir accompagnée amicalement les week-ends sur le terrain et pour leurs magnifiques photos de Papangues mises à ma disposition. De même je remercie les agriculteurs de ma zone d'étude pour leur accueil chaleureux et leur intérêt pour mon travail.

Merci à ces splendides Papangues. Non merci aux guêpes et fourmis rouges, hahaha. Pour finir je vous remercie tous d'avoir été là pour moi de près ou de loin, ainsi que ma précieuse famille, mes amis...

Ce stage se finit, et c'est le début d'une autre histoire, j'ai appris énormément, notamment que les choses se passent rarement comme prévues lorsqu'on étudie une espèce sauvage, mais que le plus important est d'essayer de rebondir à chaque fois pour parvenir à ses fins.

Merci à tous encore, mes amitiés sincères, Colombe.

« Les méandres d'une recherche, même couronnée de succès sont oubliés après coup et, déjà, la rédaction de l'article scientifique qui en découle gomme les tâtonnements ou les retours en arrière. (...) Prenons l'exemple d'une recherche que nous avons menée dans l'archipel Crozet, au fin fond de l'océan Indien, sur la reconnaissance individuelle chez le manchot royal. (...) La publication scientifique ne dira jamais la course contre la montre et les échecs en série qui furent notre lot, tout cela parmi des milliers de manchots qui vaquaient sans se presser à leurs occupations domestiques. »

Pierre Jouventin.

Les confessions d'un primate: les coulisses d'une recherche sur le comportement animal.

GLOSSAIRE ET ABBREVIATIONS

Les éléments suivants sont signalés par une * dans le document.

DEAL Réunion : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de La Réunion.

DSI : Dimorphisme sexuel inverse ou RSD en anglais (Reverse Sexual Dimorphism).

Endémique, endémisme : caractérise la présence naturelle d'un groupe biologique (espèce par exemple) exclusivement dans une région géographique délimitée. Ce concept, peut s'appliquer aux espèces comme aux autres taxons et peut concerner toutes sortes d'êtres vivants : animaux, végétaux ou autres.

Life+ Cap Dom : programme européen de connaissance, de gestion et de protection d'espèces d'oiseaux et d'habitats menacés à La Réunion, en Guyane et en Martinique. Des méthodes et des outils pilotes seront testés et leurs résultats partagés avec les territoires d'outre-mer et éco-régions voisins.

Marquage alaire : marquage des oiseaux avec une marque en plastique souple, ayant un code couleur unique, agrafée au niveau du patagium des ailes des oiseaux, dans le but de suivre un individu ou une population.

Ravine : forme élémentaire d'érosion en incision linéaire créée par le ruissellement concentré des eaux sur un versant. Dans les îles tropicales, notamment à la Réunion, le mot créole 'ravine' désigne un torrent prenant naissance dans la montagne et creusant son lit profondément dans des reliefs escarpés, d'autant plus que les pluies sont diluviennes en temps de cyclone.

SEOR : Société d'Études Ornithologiques de La Réunion.

Top-prédateur : caractérise une espèce de prédateur qui n'est prédatée par aucune autre espèce dans une région donnée.

Végétation secondaire : végétation des forêts secondaires, qui se sont régénérées là où des forêts primaires ont disparu sous l'effet de phénomènes naturels (par exemple, d'une éruption volcanique) ou d'activités humaines telles que l'agriculture ou l'élevage. Ces forêts présentent des différences majeures en termes de structure et/ou d'espèces qui la composent par rapport aux forêts primaires. La végétation secondaire est généralement instable et présente des stades successifs.

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	6
1. Introduction générale	6
2. But et démarche méthodologique du stage	7
II. MATERIEL ET METHODES.....	8
1. La zone d'étude.....	8
2. Modèle d'étude : le Busard de Maillard	9
3. Échantillonnage : méthodologie	14
4. Analyses comparées.....	20
III. RESULTATS	22
1. Caractérisation des habitats sur la zone prospectée	22
2. Effort d'échantillonnage	23
3. Couples reproducteurs	23
4. Localisation, stade et contenu des nids	24
5. Caractéristiques de l'habitat au et autour des nids.....	25
6. Sélection de l'habitat autour des nids	28
7. Focales des comportements individuels	30
8. Analyse de l'effet du temps d'observation sur le nombre d'individus contactés	32
IV. DISCUSSION	34
1. Dénombrement des couples reproducteurs sur la zone d'étude.....	34
2. Caractérisation et sélection de l'habitat de reproduction.....	35
3. Sélection et utilisation de l'habitat pour les comportements individuels.....	40
3. Habitat et conservation	41
4. Analyse de l'effet du temps d'observation sur le nombre d'individus contactés	42
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	44
BIBLIOGRAPHIE	47
ANNEXES.....	50
RESUME.....	64

I. INTRODUCTION

1. Introduction générale

La biodiversité mondiale subit une forte baisse. Les extinctions dans certains groupes d'organismes révèlent des taux plusieurs centaines de fois plus élevés que des taux attendus sur la base de données géologiques (Dirzo & Raven 2003). L'augmentation de la pression démographique induit une augmentation de l'anthropisation sur les milieux naturels, ainsi en 2000, environ 55% des terres libres de glace avaient été transformées en pâturages, terres agricoles, villages et villes, laissant moins de 45% de la biosphère en milieux terrestres sauvages et semi-naturels (Ellis et al. 2011). Ces changements affectent négativement les écosystèmes naturels à travers une perte de biodiversité et un dérèglement du fonctionnement des écosystèmes, qui se traduisent à leur tour négativement sur les biens et les services essentiels qu'ils procurent à la biodiversité elle-même (Dearing et al. 2006, Foley et al. 2005). Cependant la perte de biodiversité à l'échelle mondiale continue, voir s'accélère sur certaines parties du globe. Une compréhension des processus écologiques fondamentaux, mais aussi les fonctions et services écosystémiques, est primordiale pour élaborer des mesures de conservation efficaces (*revu dans* Cardinale et al. 2012).

Dans une optique d'enrayer cette perte de biodiversité, la recherche appliquée en conservation tente d'utiliser de nombreux outils à échelle variable, comme notamment de définir des zones prioritaires pour la conservation, avec l'identification de hotspots de biodiversité à l'échelle mondiale (aire possédant une concentration exceptionnelle d'espèces endémiques mais qui subit une exceptionnelle perte d'habitat, Myers et al. 2000). Ce concept souligne le fait que la biodiversité, qui plus est endémique et insulaire, contribue fortement à la diversité mondiale (Stattersfield & Capper 2000, Brooks et al. 2006).

En effet les îles sont marquées par un syndrome d'insularité impliquant des mécanismes évolutifs différents de ceux des écosystèmes continentaux tels qu'en général, une diversité spécifique plus faible, un taux d'endémisme plus élevé, un élargissement des niches écologiques, ainsi qu'une pression de prédation amoindrie (Mac Arthur & Wilson 1967). En conséquence les espèces insulaires ont développé des adaptations spécifiques à leur environnement, telle qu'une perte des capacités de dispersion et des comportements de défense, et, sont souvent plus vulnérables à un changement de leur habitat ainsi qu'à l'introduction d'autres espèces plus compétitives (Vilà et al. 2011). De par leur vulnérabilité, la biologie de la conservation des systèmes écologiques tropicaux concerne donc des problématiques

complexes et pour une large partie urgente, notamment dans le contexte actuel d'une population humaine et d'une anthropisation des milieux naturels en constante augmentation (Lagabrielle et al. 2009).

2. But et démarche méthodologique du stage

Le Busard de Maillard, *Circus maillardi*, est le seul rapace endémique* de l'île de La Réunion (Clouet 1978) située dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, où il est communément appelé « Papangue » en créole réunionnais. L'espèce est classée « en danger » selon les critères de l'IUCN : « population extrêmement petite sur une zone réduite, où son habitat est en constante baisse et dégradation » (BirdLife International 2013). L'espèce est protégée depuis l'arrêté ministériel du 17 février 1989 fixant les mesures de protection des espèces animales dans le Département de La Réunion. Au niveau européen, l'espèce est également prise en compte dans plusieurs conventions (Annexe 1). Les trois principales menaces apparentes qui pèsent actuellement sur cette espèce sont d'origine anthropique : l'empoisonnement secondaire (lié à l'ingestion de rats empoisonnés lors des campagnes de dératisation), le braconnage et les collisions (données du centre de soin de la SEOR, Grondin & Philippe 2011).

Les connaissances sur son écologie sont relativement faibles. Des études localisées sur certaines zones de l'île ont permis de décrire certains aspects de sa reproduction, de son écologie alimentaire et de son utilisation de l'habitat (Grondin & Philippe 2011). Les résultats de ces études couplés à une analyse des menaces potentielles pesant sur l'espèce ont permis l'aboutissement du Plan de Conservation du Busard de Maillard en 2011 (Grondin & Philippe 2011) et l'identification des actions selon leurs priorités pour la conservation de l'espèce, et ce grâce au financement du programme Life+ CapDom*. Il y apparaît que pour pouvoir adapter les mesures conservatoires face à ces menaces, il est primordial d'améliorer les connaissances sur l'écologie de l'espèce. L'étude de l'utilisation de l'habitat est souvent un élément de base pour l'élaboration des plans de conservation des espèces (Edwards et al. 1996, Groves et al. 2002, Norris 2004).

L'objectif de cette étude est donc de décrire la sélection de l'habitat par l'espèce, d'améliorer globalement les connaissances sur sa biologie de reproduction et ce en vis-à-vis avec les caractéristiques des habitats utilisés. Pour répondre à cet objectif une zone d'étude est définie et délimitée afin d'y appliquer un recensement exhaustif.

Nous orienterons nos résultats dans le cadre de ce mémoire sur 4 axes :

- ❖ Evaluation de la faisabilité d'un recensement exhaustif sur une zone délimitée.
- ❖ Analyse des facteurs prépondérants dans la sélection de l'habitat de nidification.
- ❖ Étude du comportement individuel et de l'utilisation des habitats.
- ❖ Analyse de l'effet du temps d'observation sur le nombre d'individus contactés.

II. MATERIEL ET METHODES

1. La zone d'étude

1.1. Ile de La Réunion : généralités

La Réunion (Fig. 1) est une île tropicale océanique d'origine volcanique faisant partie de l'archipel des Mascareignes situé dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien. Elle présente un relief très escarpé, composé de cirques et de « ravines* », creusés sur les versants d'un volcan dormant, le Piton des Neiges (3069 m), et d'un volcan actif, le Piton de La Fournaise (2631 m). Elle est dotée d'un climat tropical, alternant une saison sèche (hiver) et une saison humide (été) durant laquelle elle est soumise au passage de cyclones. L'île possède de nombreux microclimats et une riche diversité de milieux naturels définis en 19 habitats types par Strasberg et *al.* (2005 ; Annexe 2).

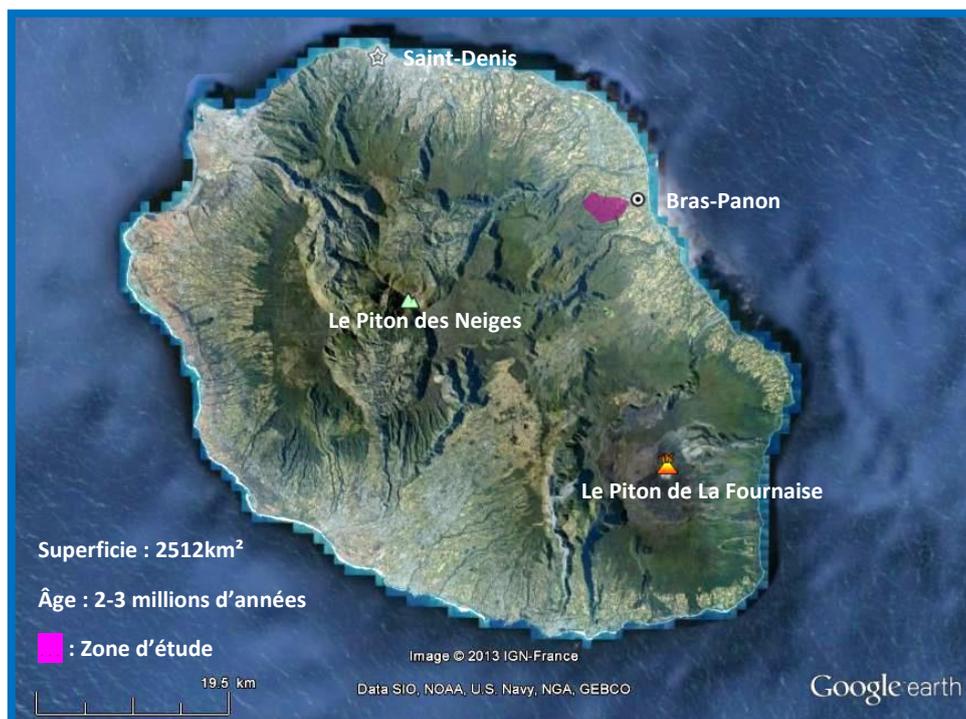


Figure 1 : Ile de La Réunion. Image satellite ©IGN-France, Google Earth.

1.2. Choix et description de la zone

La zone d'étude (8km², Fig. 2) est située dans les hauteurs de la commune de Bras-Panon, à l'est de l'île de La Réunion. Cette zone a été choisie car elle a déjà fait en partie l'objet d'une étude sur le Busard de Maillard par Gonin (2001) et qu'elle est connue pour les fréquentes observations de Papangues qui y sont faites. De plus, trois points d'observations du recensement de la population entre 1997 et 2000 (Bretagnolle et al. 2000^{a,b}), et en 2009 (Grondin & Philippe 2011) sont situés sur la zone. Elle est située entre 30 et 350m d'altitude, à l'interface entre une zone agricole (principalement des champs de canne à sucre) et la forêt indigène protégée de l'Éden. On y retrouve une mosaïque de milieux naturels et agricoles, dont de nombreuses zones de forêt indigène dégradée et de friches.

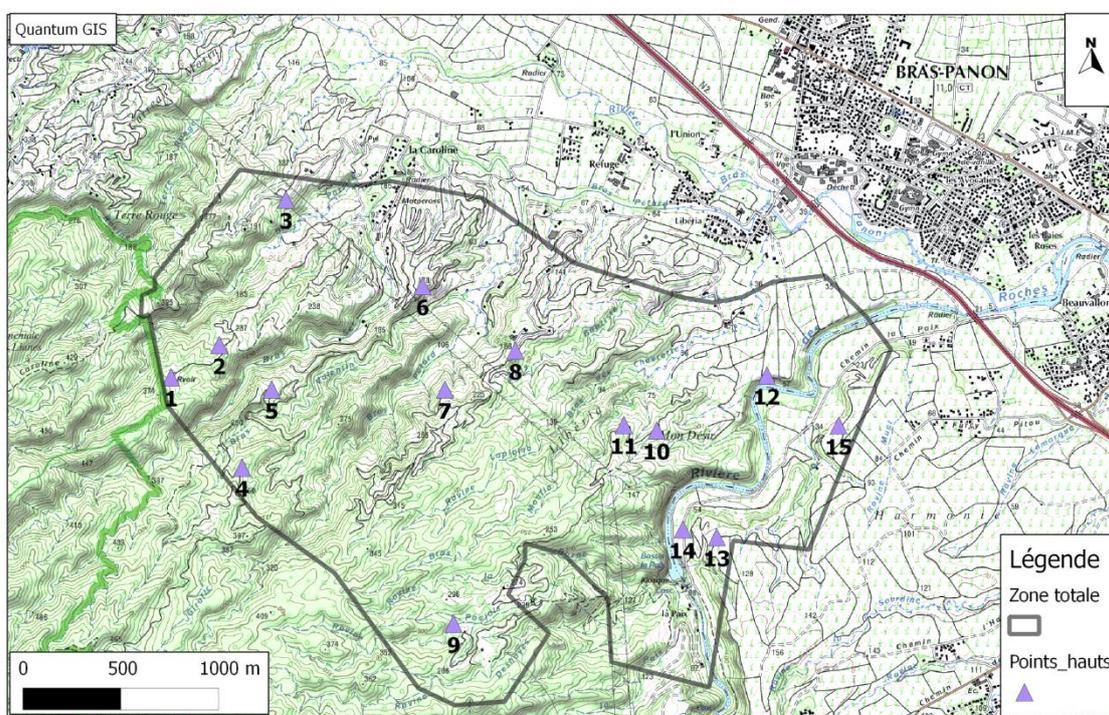


Figure 2 : Carte de la zone d'étude globale (8km²) et localisation des points d'observations (points hauts).

Carte ©IGN-France, 2011-Scan25Topo.

2. Modèle d'étude : le Busard de Maillard

2.1. Phylogénie et histoire évolutive

Le Busard de Maillard, *Circus maillardi*, a été décrit par Verreaux en 1862 (Maillard 1963). Il fait partie de la famille des Accipitridae (ordre des Accipitriformes) et du genre *Circus*,

les « Busards », qui comporte 16 espèces. Il été considéré comme formant une seule espèce avec le Busard de Madagascar (*Circus macroscyles*), bien que des différences morphologiques aient été rapportées (Clouet 1978, Bretagnolle et al. 2000^a), jusqu'à ce que Simmons (2000) les distingue grâce à une étude génétique (arbre phylogénétique, Annexe 3). Les deux espèces ont divergé depuis environ 760 000 ans. Le Busard de Maillard était présent à l'île Maurice, située à 210 km de La Réunion, mais l'espèce y est aujourd'hui éteinte (Mourer-Chauviré et al. 2004).



Figure 3 : Dimorphisme du plumage chez le Busard de Maillard (*Circus maillardi*). Dimorphisme sexuel : femelle (a) et mâle (b). Dimorphisme lié à l'âge : juvéniles (sexe indéterminé) de première année (e) et (f), immatures de plus d'un an, femelle (c) et mâle (d).

©Laurent Brillard (a,b,e)

©Jasmin/Caceres (c,d,f).

2.2. Description morphologique

Le Papangue présente un dimorphisme sexuel au niveau du plumage, les mâles ont le dos, la tête et les extrémités des ailes noirs, le ventre blanc et la queue grise, tandis que les femelles ont le plumage strié de brun et beige (Fig. 3a, b). Il existe aussi un dimorphisme du plumage lié à l'âge : les jeunes sont brun uniforme, plus ou moins sombres (Fig. 3e, f) et la transition vers le plumage adulte se fait progressivement durant la deuxième et la troisième année (Fig. 3c, d). De plus, comme chez la plupart des rapaces (Ferguson-Lee & Christie 2008), il présente un dimorphisme sexuel inverse (DSI*) avec des femelles plus grandes et plus lourdes que les mâles comme le montrent des mesures biométriques (récapitulées dans le Tab.1).

Tableau 1 : Mesures biométriques (mm) et poids (g) moyens du Busard de Maillard, *Circus maillardi*. D'après une moyenne des données de 1 : SEOR 1998-2013, 2 : Clouet 1978, 3 : Bretagnolle *et al.* 2000^a, 4 : Probst 1996. Taille de l'échantillon (n), doigt interne (Di), médian (Dm), externe (De) et pouce (P).

Élément	Mâles	n	Femelles	n	Source
Tarse	82.8	32	86.7	26	1 ;3
Aile pliée	352.4	40	371.8	29	1 ;2 ;3
Culmen	32.0	40	34.3	29	1 ;2 ;3
Di/Dm/De/P	22.4/21.0/16.6/23.5	17	26.1/23.9/20.4/25.2	16	1
Queue	219.6	23	228.4	13	2 ;3
Envergure	1240-1400	NA	1240-1400	NA	4
Poids	548.3	17	732	16	1

2.3.État de la population

La population du Busard de Maillard fût décrite comme abondante au début de la colonisation de l'île de La Réunion (Dubois 1672) puis comme faible par Textor de Ravisi en 1880. Par la suite, plusieurs estimations ont fait état de 130 à 300 couples (Clouet 1978, Barré *et al.* 1996, Cheke 1987), mais leur importante divergence, dues à l'utilisation de méthodes non standardisées, montrait la difficulté de recenser cette espèce et la nécessité de mettre en place un protocole adapté (Grondin & Philippe 2011). En 2000, la population a été estimée entre 400 et 600 individus dont moins de 100 couples échantillonnés par des focales d'observations sur des points fixes disposés selon un quadrillage de l'île (Bretagnolle *et al.* 2000^b). Entre 2009 et 2010, par la même méthode, 430 individus ont été observés dont 150 couples estimés (Grondin & Philippe 2011).

2.3. Habitat

Répartition. Le Busard de Maillard est une espèce non migratrice, présente sur toute l'île en dehors des zones urbanisées et sans végétation (comme le volcan ; Bretagnolle et *al.* 2000^{a,b}, Grondin & Philippe 2011), avec des variations de densité de population (Fig. 4). L'étude faite entre 1997 et 2000 montre que 75% des couples nichent entre 0 et 800 m (Ghestemme et *al.* 1998 ; Bretagnolle et *al.* 2000^{a,b}), avec une densité très hétérogène variant entre 0.6 et 3.4 couples par 10 km² (Ghestemme et *al.* 1998). La répartition des couples et des juvéniles en fonction de l'altitude, de la pente et de l'occupation du sol a permis d'identifier une zone théorique de répartition de l'espèce (Carte en Annexe 4) globalement dans des secteurs de pente moyenne, avec des milieux arbustifs et arborescents, entre 150 et 1500 m d'altitude (Grondin & Philippe 2011). L'espèce semble privilégier l'Est de l'île, moins urbanisé, et les pentes importantes (15 à 70%) car les zones peu pentues, bien que favorables à l'espèce, sont souvent urbanisées (Grondin & Philippe 2011). Le Papangue s'est adapté à différents milieux et le facteur déterminant pour son choix d'habitat semble principalement lié à l'abondance et l'accessibilité de ses proies (Bretagnolle et *al.* 2000^{a,b}).

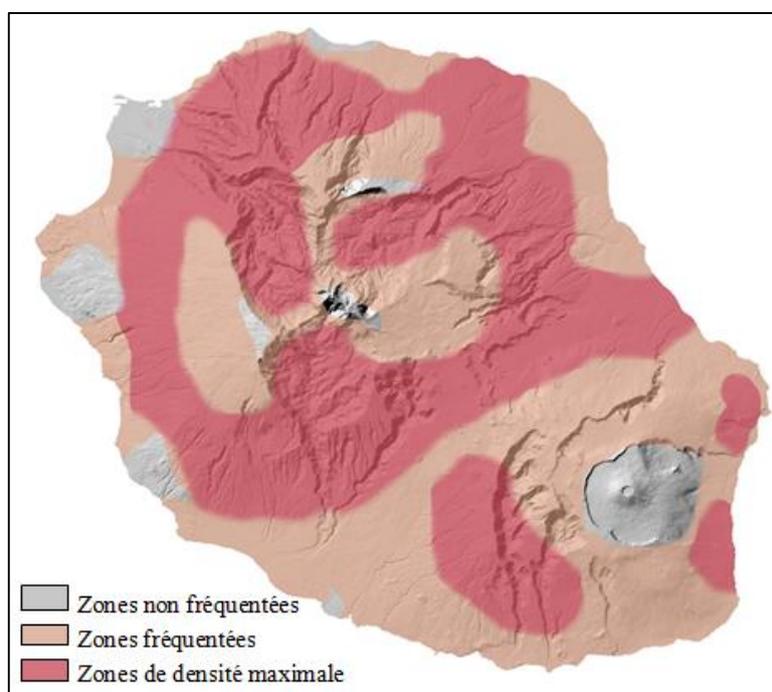


Figure 4 : Répartition des couples selon la probabilité de densité obtenue à partir de résultats d'études et d'observations (Données SEOR 2013).

Habitats fréquentés. Essentiellement forestier avant la colonisation humaine (Clouet 1978), les couples occupent aujourd'hui une mosaïque d'habitats. Il niche sur des pentes raides et boisées, en forêt indigène et friches (70% des couples) et dans des habitats naturels (moins

de 30%, Grondin & Philippe 2011), le plus souvent inaccessibles et loin des installations humaines (Ghestemme et al. 1998, Bretagnolle et al. 2000^b). Ses zones de chasse sont situées en milieux ouverts (pâturages, friches, champs de canne, et plus rarement en zones humides et savanes) et en zones forestières (Grondin & Philippe 2011). Il survole les zones urbaines lorsqu'elles sont à l'interface entre son lieu de reproduction et sa zone de chasse (Grondin & Philippe 2011). Sa distribution actuelle reflète une influence de la perturbation humaine plutôt que de vraies préférences d'habitat (Bretagnolle et al. 2000^b). La surface de son habitat favorable (Bretagnolle et al. 2000^b) augmente dans la mesure où il semble se réappropriier les milieux ouverts générés par l'abandon de territoires agricoles (Grondin & Philippe 2011). L'urbanisation et les constructions de routes sont en augmentation mais elles sont situées pour la plupart dans les basses terres et des zones qui ont longtemps été déboisées, en dehors de la répartition du busard (Bretagnolle et al. 2000^b). Alors que la plupart des espèces de busards vivent en zones humides (Simmons 2000), le Busard de Maillard est un cas d'adaptation à un autre habitat. Il semble avoir certaines similitudes avec la population de Busard de Madagascar présente aux Comores qui occupe plusieurs types d'habitats, dont des forêts (Clouet 1978, René de Roland et al. 2009). En effet à l'inverse de Madagascar, les Comores ne possèdent pas de vastes zones marécageuses (René de Roland et al. 2009).

Domaines vitaux. Plusieurs couples voisins peuvent utiliser un même secteur de chasse, notamment dans les zones à forte densité (Clouet 1978). De plus, les frontières territoriales n'étant pas nettes et les comportements intraspécifiques agressifs étant rares en dehors de la période de reproduction (Clouet 1978), le terme de domaine vital plutôt que territoire est plus approprié. Ceux-ci sont estimés à environ 3 km² (Clouet 1978) jusqu'à 4 à 6 km² aux altitudes plus élevées (Cheke *com. pers.* cité dans Clouet 1978). Les comportements territoriaux observés consistent en une poursuite accompagnée de cris ou un vol avec une posture à signification agressive (thorax en avant, ailes relevées en V, pattes pendantes et cris ; Clouet 1978).

2.4.Régime alimentaire

Avant la colonisation humaine, le Papangue chassait des proies assez grosses comme en témoigne la morphologie de ses pattes (tarse plus court, serres plus grandes que chez *C. macroscelus*), certainement de gros oiseaux du genre pigeons et perroquets (Clouet 1978, Cheke 1987, Bretagnolle et al. 2000b). Les proies qu'il chasse aujourd'hui sont probablement difficiles à capturer en forêt ce qui expliquerait pourquoi le busard a tendance à éviter la forêt à canopée fermée et à privilégier les bois plus ouverts et la végétation basse en dépit de son adaptation

morphologique à la forêt (Bretagnolle et *al.* 2000b). Actuellement, les rongeurs introduits (rats, souris) constitueraient une part majoritaire de son alimentation (50% d'après Clouet 1978, à 70% pour Rochet et *al.* 2000), suivis par des reptiles, de petits oiseaux et des mammifères insectivores (musaraignes et tenrecs), avec occasionnellement un comportement charognard (Grondin & Philippe 2011). Aucun échantillonnage suffisant n'a été fait, mais une liste des espèces proies a été établie par Grondin & Philippe (2011, Annexe 5). Sa technique de chasse consiste à survoler à faible hauteur ses zones de chasse (lisière forestière, canopée, friches, champs de canne) puis à capturer les proies au sol (Clouet 1978, Grondin & Philippe 2011).

2.5.Reproduction

Les comportements reproducteurs du Busard de Maillard ont été observés toute l'année à l'échelle de l'île, sans synchronisation des couples présents sur un même secteur (Grondin & Philippe 2011). Cependant les études de Clouet (1978), Bretagnolle et *al.* (2000^b) et Gonin (2001) rapportent des pics d'activités dans la phénologie de la reproduction : généralement la construction des nids débute en octobre et la ponte se fait entre janvier et avril. Le nid est un amas de branches d'environ 60 à 70 cm de diamètre situé sur le sol ou sur des petits buissons, construit chaque année par le couple (Clouet 1978), souvent dans des zones peu accessibles (Grondin & Philippe 2011). Deux à trois œufs sont pondus et couvés pendant 33 à 36 jours par la femelle, celle-ci étant nourrie par le mâle. Pendant l'élevage des poussins, la femelle est peu active et s'éloigne peu du nid. Les jeunes (1 ou 2 par couple, plus rarement 3 (Cheke 1987)) s'envolent environ 45 jours après la ponte et sont nourris pendant encore au moins deux mois par le mâle. Ils se dispersent à la nouvelle saison de reproduction, motivés par le comportement agressif des parents (Clouet 1978). Le succès reproducteur est de 1,2 (n=61 couples, Rochet et *al.* 2010) à 1,4 (Clouet 1978) jeunes par couple par an.

3. Échantillonnage : méthodologie

3.1.Première étape : exploration de la zone d'étude

Bien que la zone soit connue pour abriter plusieurs couples de Papangues, aucune étude n'a encore évalué exhaustivement la population et la localisation de l'ensemble des couples reproducteurs sur cette zone. Ainsi la première étape consiste à explorer la zone. L'exploration se déroule de la manière suivante :

○ Première exploration : grâce à une carte IGN et un GPS, les sentiers sont repérés et empruntés de manière à couvrir la zone entière. Au cours de ces marches, les observations *ad-libitum* (présence des Papanges, comportements, autres oiseaux, caractéristiques du terrain) sont notées, et les éventuels propriétaires des terrains sont rencontrés. Ce point est particulièrement important pour deux raisons : (1) l'autorisation du propriétaire est nécessaire pour se rendre sur son terrain, (2) une entente cordiale est primordiale afin de faire connaître le but de l'étude : la conservation d'une espèce endémique en danger d'extinction. L'activité quotidienne des Papanges ayant peu été étudiée, ces premières explorations se font impérativement tôt le matin (7:00) jusqu'à midi au minimum.

○ Deuxième exploration : une bonne observation des comportements des busards nécessite d'être situé sur un point haut, d'autant plus que la topographie de la zone d'étude est très escarpée. Ces explorations ont pour but de définir un minimum de points hauts (notés Po) permettant de faire une observation maximale de la zone. Les points hauts potentiels sont repérés lors de la première exploration. Lors de la seconde exploration les observations diverses sont notées et les points hauts permettant d'avoir la meilleure visibilité sur des couples potentiels de busards sont sélectionnés.

3.2. Dénombrement des couples reproducteurs

Cet échantillonnage a été utilisé à deux reprises à l'échelle de l'île pour estimer la taille de population du Busard de Maillard (Bretagnolle et al. 2000^{a,b}, Grondin & Philippe 2011). Afin de pouvoir comparer les données de densité estimées précédemment, la même méthode a été utilisée. Une focale « activité » de 3 heures (8h30-11h30) est faite sur chaque point haut. La plage horaire a été choisie car elle semble correspondre à la période d'activité maximale des Papanges (Grondin & Philippe 2011). Une fiche (Annexe 6) est remplie pour chaque focale et le nombre de couples reproducteurs est quantifié grâce au dénombrement de comportements reproducteurs. Un éthogramme des comportements reproducteurs (Tab. 2) inspiré des travaux précédents et d'observations personnelles a été établi et a permis la standardisation de l'échantillonnage des comportements. Deux nombres de couples sont distingués : les couples certains pour lesquels au moins une observation a eu un code entre 7 et 13 et les couples probables pour lesquels au moins une observation a été notée avec un code de 2 à 6.

Tableau 2: Code atlas des comportements reproducteurs du Busard de Maillard d'après ceux décrits par Jakubek et al. 1997 et Grondin & Philippe 2011.

Code	Comportement	Interprétation
0	Oiseau en vol ou posé	Simple présence
1	Interaction territoriale entre deux adultes ou entre un adulte et un jeune /piqué sur un intrus puis accompagnement hors du territoire	Reproduction possible
2	Parade d'un individu	
3	Sollicitation d'un mâle par une femelle ou un jeune de l'année	
4	Vol d'un couple avec interactions	Reproduction probable
5	Parade de couple	
6	Apport de matériau pour le nid	
7	Alarme	
8	Transport de proie par un mâle adulte	
9	Passage de proie mâle-femelle	
10	Passage de proie adulte-jeune	Reproduction certaine
11	Adulte suivi par un jeune de l'année	
12	Copulation	
13	Nid	

3.3. Étude des nids : activité et description

Alignements. La première étape consiste à « aligner » les nids. Lorsque des comportements reproducteurs sont observés chez un couple supposé, l'observation est prolongée et répétée jusqu'à ce qu'un ou les deux individus se posent sur une zone. L'endroit précis est alors pris en photo et pointé sur un croquis de la zone. Une visite au nid est alors planifiée lors que le comportement reproducteur correspond à un code supérieur ou égal à 6 (cf. Tab.2).

Visites. La première visite au nid nécessite au minimum deux personnes : l'une placée au niveau point d'observation guidant par talkie-walkie une autre personne partant visiter le nid. Le visiteur doit être muni d'un bâton avec un foulard coloré car les zones de nidification sont souvent situées dans de la végétation assez haute et dense (Fig. 5). Cette méthode permet d'éviter la dégradation de la végétation alentour par une recherche hasardeuse du nid. Lorsqu'un nid est trouvé il est décrit grâce à une fiche (Annexe 7). Sa position GPS, ses dimensions, la végétation (type et espèces) alentour et le contenu du nid sont notamment relevés. Si le nid contient des œufs, ceux-ci sont très délicatement pesés, mesurés et numérotés à l'aide d'un crayon à papier. Si le nid contient des poussins ayant encore du duvet, ils sont pesés. Si les poussins ont leur plumage de juvéniles, ils sont bagués, les mesures biométriques sont faites et des marques alaires* sont posées.



Figure 5 : Photographie d'une recherche de nid sur la zone d'étude : utilisation d'un repère pour être guidé visuellement vers la zone d'alignement du nid.

3.3.Focale d'analyse de l'effet du temps d'observation

Échantillonnage. Les observations sont faites sur 8 points hauts, durant un troisième type de focale « nids » d'une heure. Cette phase d'une heure est utilisée afin de localiser les nids (dans le but d'éviter les doubles comptages, les caractéristiques de plumage comme la couleur, mue, âge et sexe sont relevés). Au cours de cette focale, un protocole spécial est mis en place afin d'évaluer en quoi le temps d'observation peut affecter le nombre de couples détectés. Pour cela, la position initiale de tous les individus détectés est relevée pendant 15 minutes au début et à la fin de la focale d'une heure. Le premier passage débute dès notre arrivé sur le site avec un premier passage de 15 min (composé de trois périodes : 0-5min, 0-10 min et 0-15 min), puis un deuxième passage est mis en place 30 min après le premier passage (donc de 45 à 60 min), et ce afin de tester si le dérangement occasionné a notre arrivé peu affecter le

nombre de couples détectés lors du premier passage. Pour finir ces focales sont conduites sur 40 jours divisés en 5 tranches horaires (7-8h, 9-10h, 11-12h, 15h30-16h30, 17-18h) afin de pouvoir analyser les effets de date et d'heure. Le choix des tranches horaires a été établi dans le but de permettre le ralliement des différents points d'observation.

3.4. Eco-éthologie : étude des comportements individuels

Un deuxième type de focale d'observation, « individu », est utilisé afin de décrire les comportements individuels des oiseaux. Lors de ces focales, un seul oiseau est suivi du moment où il est repéré jusqu'à ce qu'il soit perdu de vue. Toutes ses actions sont notées et chronométrées, ses éventuelles interactions avec d'autres oiseaux, ainsi que les éléments récapitulés dans le tableau 3. Étant donné la rapidité de certains comportements, une description orale de la focale est enregistrée au dictaphone puis retranscrite par la suite dans un fichier. Afin de standardiser les types de comportements pour une meilleure analyse, un deuxième éthogramme (actions dans Tab. 3 page suivante) a été établi à partir des observations et de la bibliographie. Ces focales ont été faites entre les 2 passages des focales d'analyse l'effet du temps d'observation.

Tableau 3 : Éléments de description d'une focale « individu » du Busard de Maillard.

Type	Description
Focale :	Point d'observation, date, heure, durée de la focale
Temps :	Temps du début et durée de l'action (en sec)
	Jusqu'à trois actions simultanées, l'action 1 étant la principale.
Cris	<ul style="list-style-type: none"> ○ Alarme : lors du passage ou venue d'un intrus à proximité d'un nid ○ Appel : sollicitation, durée moyenne ○ Contact : signalement de présence, durée courte et basse fréquence. ○ Grinçant : typiquement poussé par les mâles en reproduction pour attirer la femelle au nid. ○ Parade : courte durée, basse fréquence, durant la parade. ○ Strident : long et à haute fréquence. Signalement de présence, sollicitation ou agressivité.
Actions :	
<i>Interactions</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Accouplement ○ Attaque, agressivité, poursuite (faite ou subite) ○ Cris et réponses, sollicitations ○ Couples, passages de proies ○ Prise d'ascension avec d'autres individus
<i>Vol</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ascension, descente, piqués, figures acrobatiques, parades ○ Vol direct (rapide et trajectoire rectiligne), plané (moins rapide) et battu (avec battements d'ailes) ○ Survol : à moins de 5 mètres du sol
<i>Autres</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Transport de proie, de matériau pour le nid ○ Chasse, tentatives de capture et leur réussite ou échec ○ Envol, posé, marche ○ Étirements, toilettage
Type d'habitat :	
<i>Agricole</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Champ de canne et autres cultures, habitations agricoles
<i>Naturel</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Arbre, arbustes, bambous en milieu naturel, forêt secondaire, herbacées à majorité de fougères, friches
<i>Mosaïque</i>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Mosaïque d'habitats agricoles et naturels
Remarques habitat :	<ul style="list-style-type: none"> ○ Présence de nids, lignes à haute tension, pylône électrique, ou autres objets à proximité. ○ Sur la canopée ou sous couvert de la forêt, au-dessus d'une crête ou d'une ravine, d'un chemin ou d'une route.
Météo :	<ul style="list-style-type: none"> ○ Couverture nuageuse (0, 25, 50 ou 100%), pluie, soleil ○ Vent faible, moyen, fort
Individu :	<ul style="list-style-type: none"> ○ Individu suivi durant la focale, sexe, âge, et numéro du nid si connus ○ Individus supplémentaires en interaction avec l'individu principal

4. Analyses comparées

Données et SIG. La sélection de l'habitat sur la zone d'étude est étudiée grâce à données d'occupation des sols. Ces données sous forme de couche SIG proviennent d'une compilation de données (source : PNRUN et DAAF) réalisée par le Parc National de La Réunion. Les analyses de l'habitat sont faites grâce au logiciel Quantum GIS® (1.8.0-Lisboa, 26 mai 2012). Ainsi une fois l'ensemble des données de terrain collectées, l'objectif a consisté en la création de bases de données propres à chaque protocole sous Microsoft Excel 2010®.

Sélection de l'habitat de nidification. L'ensemble des nids réels localisés ont été projetés sur notre fond cartographique, auquel nous avons ajouté une couche vectorielle « nids fictifs » (*i.e.* même nombre de nids, positionnés aléatoirement sur la zone d'étude, avec Hawth's Analysis Tools). Cela nous permet alors de déterminer si le choix de la zone de nidification est influencé par certaines caractéristiques de l'habitat et si ces caractéristiques diffèrent d'une disposition purement aléatoire. La variable réponse est ensuite classifiée en réponse en binaire (0 = nid aléatoire, 1 = nid réel). Quatre variables sont comparées : la longueur moyenne des lignes à haute tension (aux échelles spatiales 250 et 500 m autour des nids réels et fictifs), la distance à l'habitation la plus proche et la distance à la côte, et enfin le pourcentage relatif moyen de type d'habitat au sol (aux échelles spatiales 250, 500, 1000 et 2000 m autour des nids réels et fictifs). La différence de proportions d'habitats a été testée avec un test de Kruskal-Wallis. Lorsque le pourcentage moyen de type habitat au sol autour d'un nid réel est significativement inférieur ou supérieur à celle autour des nids fictifs nous pouvons en déduire que cet habitat n'est pas sélectionné aléatoirement. Il existe alors des mécanismes impliquant une sélection directe de cet habitat (par exemple parce qu'il constitue une ressource nécessaire) ou indirecte (car une ressource nécessaire y est présente ou est située à proximité).

Analyse de l'effet du temps d'observation. Deux analyses ont été conduites : dans un premier temps sur l'effet de la durée du temps d'observation sur la proportion totale d'individus contactés. Pour cela une estimation de la proportion d'individus contactés sur les deux passages divisés en 3 périodes (de 0 à 5 min, de 0 à 10 min et sommes des individus contactés pendant les 15 min) a été faite. Puis les différences de proportions entre chaque classe ont été testées avec test de Kruskal-Wallis. Dans un deuxième temps, nous avons évalué si le nombre d'individus pouvait être affecté par la date du recensement, l'heure ou l'observateur. Pour cela nous avons testé 3 modèles, un premier avec un effet classes (1=0-5min ; 2=0-10 min et 3=0-15min), un deuxième modèle avec la variable passage, ici 1 ou 2 (*i.e.* test sur la première tranche

de comptage de 15 min comparée à la deuxième tranche de 15 minutes, ce qui correspond à tester un effet du dérangement sur site), et enfin un troisième modèle combinant un effet classe et passage. Les analyses statistiques ont été faites sous R (R Development Core Team 2010®) version 2.13.0. Des modèles linéaires généralisés à effet mixte (GLMer), famille 'binomial', ont été utilisés via R package lme4 version 0.999375-39 (Bates *et al.* 2011). L'identifiant du point observation ayant été placé en aléatoire pour comparer les différents modèles. Le modèle le plus parcimonieux est le modèle avec l'AICc (Akaike Information Criterion) le plus faible. On considère que deux modèles sont différents lorsque la différence d'AICc est supérieure à 2.

Étude des comportements individuels. Martin & Bateson (1993) suggèrent d'identifier deux types de comportements : (1) *l'évènement*, un type de comportement relativement bref, tel qu'un mouvement discret ou un cri, qui peut être approché à un point dans le temps. Et pour qui la caractéristique d'étude la plus pertinente est la fréquence ou l'occurrence. Et (2) *l'état*, un type de comportement relativement long, tel qu'une activité prolongée, une posture, ou une mesure de proximité. Pour qui la caractéristique la plus pertinente à étudier est souvent la durée. Dans le cadre de cette partie nous comparons visuellement les résultats obtenues.

III. RESULTATS

1. Caractérisation des habitats sur la zone prospectée

Les habitats de la zone prospectée (Fig. 6 et 7) sont représentés principalement par des zones de forêt secondaire (42.3%), des zones en friche (26%) et de la culture de canne à sucre (24.5%). On y retrouve aussi plus faiblement des zones urbaines et périurbaines (3.7%), d'agriculture diversifiée (2.2%), des écrans d'arbres, haies et bosquets (0.9%), des taches de forêt tropicale humide de basse altitude (0.2%) et enfin de l'élevage (0.1%).

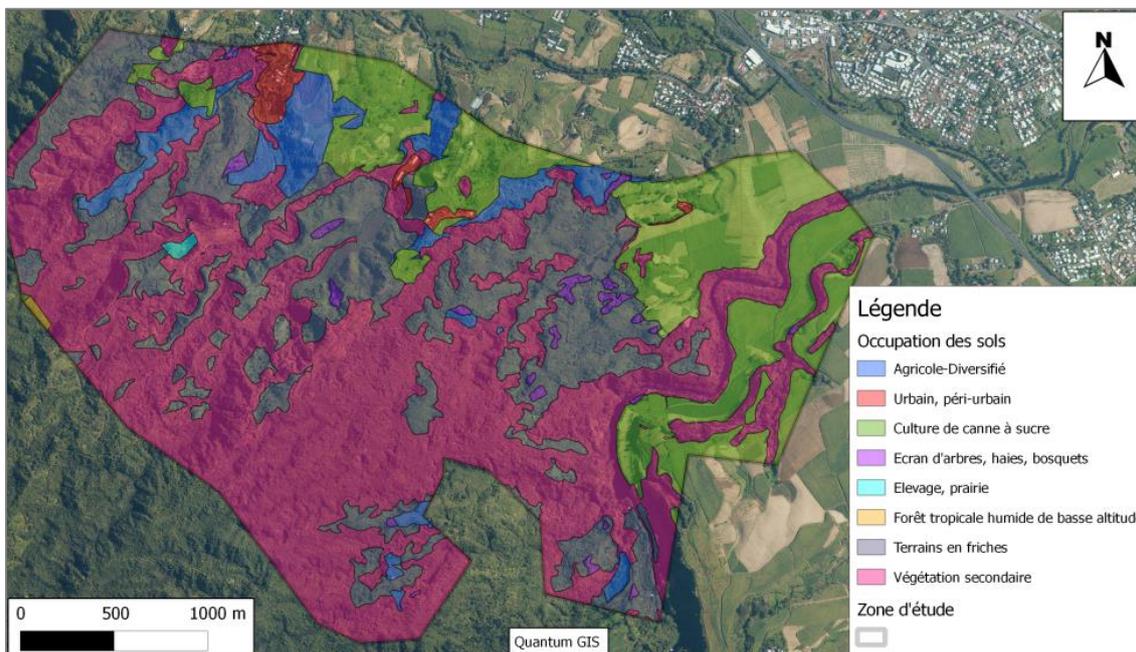


Figure 6 : Cartographie de l'occupation des sols par type de milieux de la zone d'étude. Source image satellite : IGN-BDORHTO® 2011. Source occupation des sols : document de travail PNRun & DAAF.

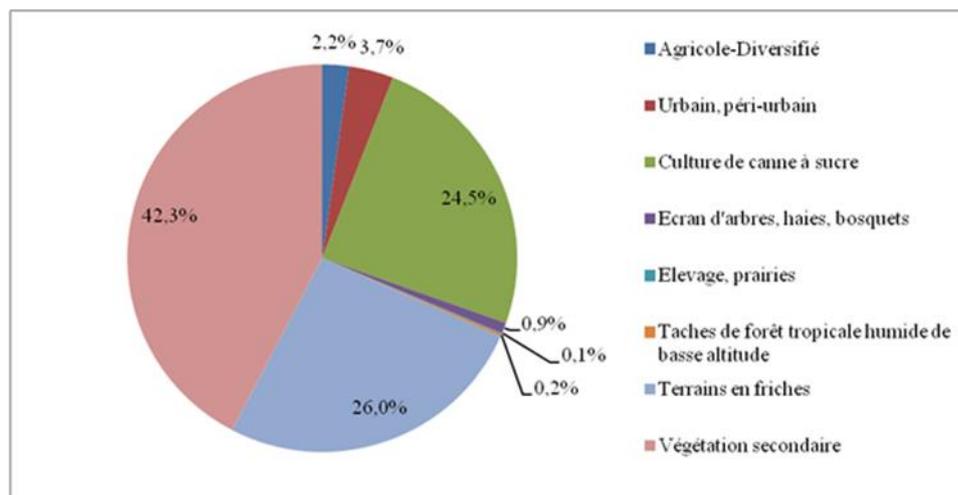


Figure 7 : Représentation en pourcentage de l'occupation des sols sur la zone d'étude de la Caroline (800ha).

2. Effort d'échantillonnage

À l'issue de la phase exploratoire, 18 points hauts ont été sélectionnés. Ces points ont été utilisés pour effectuer les focales « d'activités » et dénombrement des couples reproducteurs (15 focales sur 15 points soit 45 heures d'observation), les focales « individus » (189 focales, pour une durée totale de près de 10 heures, sur 9 points), les focales d'activité aux nids (40 focales, soit 40 heures, sur 8 points, non présenté ici) couplées à celles des points de recensement (80 passages de 15 min espacés de 30 min, divisés en 3, sur 8 points). Au total au moins 85 heures de focales d'observations ont été faites, sur 55 jours.

3. Couples reproducteurs

Les focales d'activité ont permis de dénombrer et localiser les couples reproducteurs. Un total de 17 couples certains et 7 couples probables ont été recensés sur 15 points (dont on estime que la zone échantillonnée est de 2km²) (Fig. 8). Soit 5.66 couples certains et 2.3 couples probables /10 km². Le nombre de couples recensés diffère selon les points d'observations avec un maximum de 2 couples certains et 1 couple probable pour un point d'observation à seulement 1 couple probable.

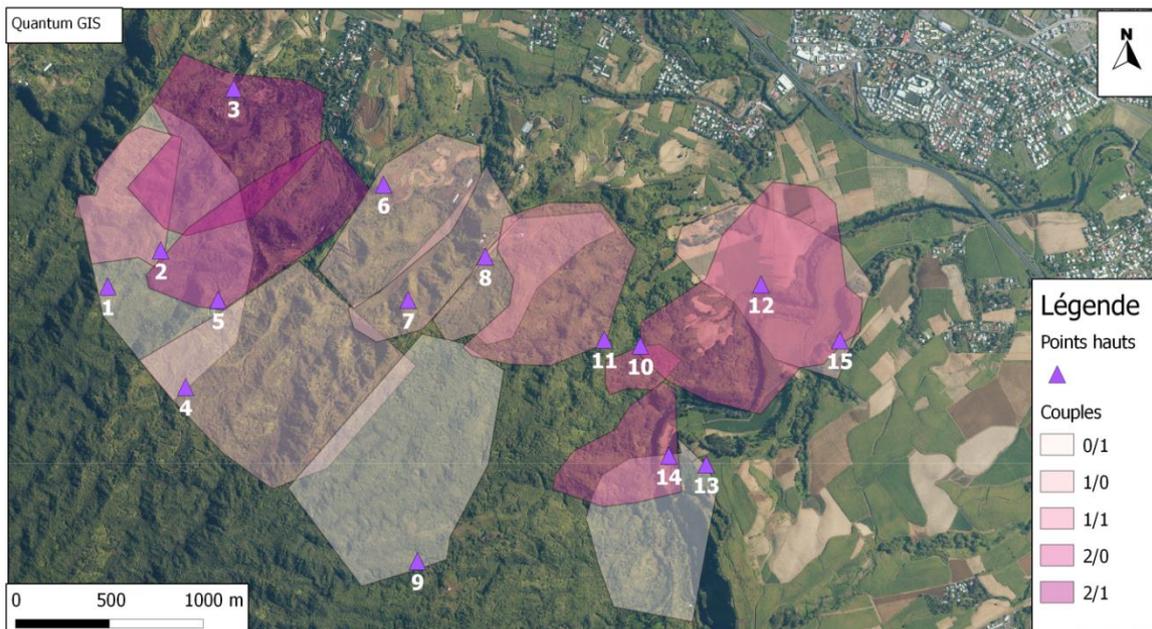


Figure 8 : Nombre de couples certains/probables par points hauts (n=15) recensés lors des focales d'observation d'activité sur la zone d'étude entre février et mai 2013. Les polygones représentent l'aire approximative d'échantillonnage par point haut. Source image satellite : IGN-BDORTHO (2011).

Un nombre minimum d'individus par sexe et par point haut a pu être déterminé par des observations simultanées de plusieurs oiseaux en même temps et/ou par des caractéristiques permettant d'identifier un oiseau en particulier (présence de mues par exemple). En moyenne on observe 2,8 mâles adultes (46%), 1,9 femelles adultes (31%), 0,5 jeunes de l'année (3%, mâles et femelles confondus car le plus souvent indéterminé) et 1,2 individus de sexe et d'âge indéterminé (20%, en partie des oiseaux en 2 ou 3^{ème} années, une partie des oiseaux pourrait être des femelles) par point haut. Les moyennes d'individus par sexe sont significativement différentes (anova, $P < 0.001$, ddl = 3). Par point haut, il y a donc eu plus d'individus mâles adultes différents observés que d'individus femelles adultes différents, et que d'individus juvéniles différents.

4. Localisation, stade et contenu des nids

Grâce à la méthode des alignements, 11 nids ont été localisés (Fig. 9). Sur 11 nids trouvés (Annexe 8) un seul n'a pas pu être visité en raison de son accès trop dangereux. Cependant sa localisation a pu être positionnée avec précision sur une carte, de plus les comportements observés des adultes (passage de proies et apport de matériaux au nids) ont permis de confirmer son activité.

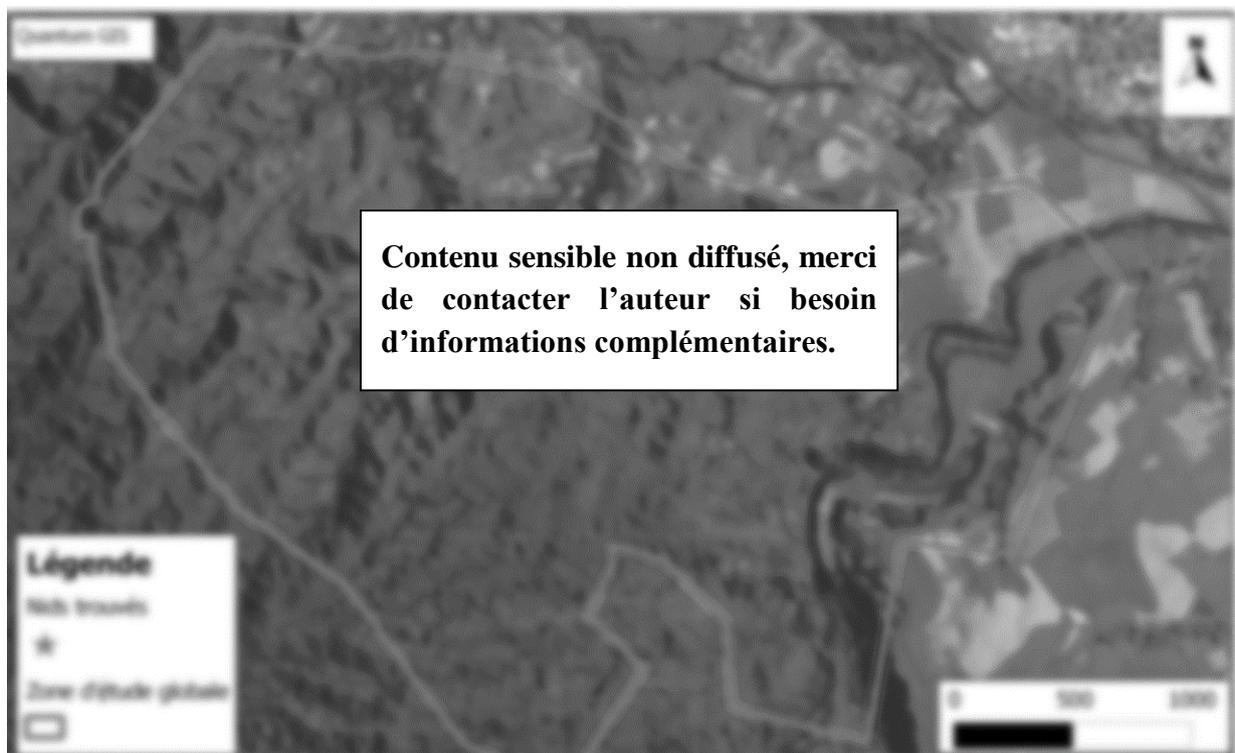


Figure 9 : Localisation des 11 nids de Busard de Maillard trouvés sur la zone d'étude. Source image satellite : IGN-BDORTHO (2011).

Lors de la première visite, 2 nids étaient au stade d'ébauche, 5 au stade d'ébauche avancée, 2 contenaient des œufs, et le dernier contenait un poussin presque volant. Le stade d'ébauche avancée présente une dépression concentrique au centre du nid et un fort apport de matériaux, ce qui le différencie du stade d'ébauche (Annexe 9). Lors de la visite au nid le juvénile presque volant a été bagué et des mesures biométriques ont été faites. Des marques alaires avec un code unique (Annexe 10) ont été posées sur cet individu en vue d'un suivi sur le plus long terme. Les 5 œufs trouvés (Annexe 10) mesurent en moyenne 49,3 mm de longueur et 37,3 mm de largeur. Leur poids a baissé entre la première et la deuxième visite pour 3 d'entre eux, ce qui indique une perte de densité (g/cm³). En effet, chez les oiseaux, la densité de l'œuf diminue avec l'avancement de la couvaison en raison de la poche à air de l'embryon qui diminue. L'un d'eux n'avait pas perdu de poids, et le dernier a été retrouvé « écrasé » et vide lors de la deuxième visite. Pour un des nids, deux poussins éclos ont été retrouvés sur les trois œufs pondus. Bien que les œufs aient été identifiés grâce à un numéro au crayon à papier, l'œuf qui n'a pas donné de poussin n'a pas pu être identifié car aucun reste n'a été retrouvé dans le nid.

5. Caractéristiques de l'habitat au et autour des nids

Les caractéristiques des nids, hors composition en végétaux, sont résumées dans le tableau 4, page suivante.

Tableau 4 : Caractéristiques des nids de Busard de Maillard situés sur la zone d'étude. Les nombres adjacents représentent les écart-types.

Caractéristiques	Moyenne	min	max
Altitude (m)	149 ± 43	58	197
Nombre d'arbres présent dans un rayon de 10m	3 ± 2	0	6
Taux de recouvrement végétal (rayon de 10m autour)	100%	-	-
Hauteur de végétation autour nid (cm)	162 ± 35	96	215
Hauteur du sol au bas du nid (cm)	26 ± 15	10	55
Hauteur du haut du nid au haut de la végétation (cm)	114 ± 29	74	150
Longueur du nid (cm)	53 ± 8	45	70
Largeur du nid (cm)	44 ± 9	30	63
Hauteur du nid (cm)	21 ± 5	12	31
Inclinaison du sol (%)	31% ± 16	5	60
	<i>Est</i>	50%	
	<i>Nord-Est</i>	10%	
Exposition	<i>Nord-Ouest</i>	10%	
	<i>Nord</i>	20%	
	<i>Ouest</i>	10%	

Au niveau de la composition en espèces végétales dans un rayon de 10 m autour des nids (Fig. 10a), 9 espèces ont pu être identifiées. On observe que la présence d'arbres ou arbustes est systématique (100%) et parmi les espèces identifiées on retrouve du Goyavier (*Lantana camara*) et du Jambrose (*Syzygium jambos*). De même, l'espèce *Scleria sieberi* est retrouvée autour des 10 nids. La présence de fougères est aussi importante, pour 60% à 80% des nids, avec trois espèces différentes identifiées (*Nephrolepis biserrata*, *Dicranopteris linearis* et *Pteridium aquilinum*).

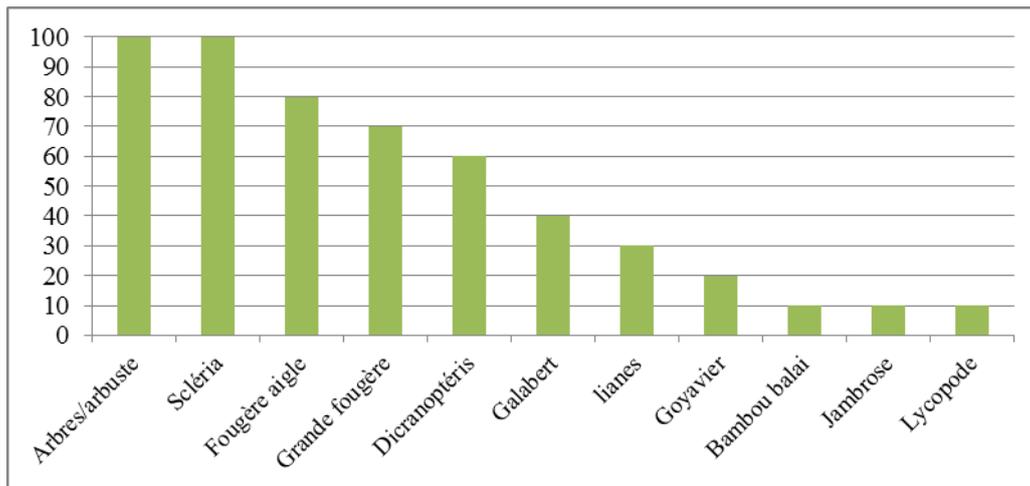


Figure 10a : Nombre de nids (en %) ayant dans rayon de 10m autour ces végétaux. Espèces indéterminées pour les lianes et arbres/arbustes. *Scleria sieberi* Fougère aigle (*Pteridium aquilinum*), Grande fougère (*Nephrolepis biserrata*), *Dicranopteris linearis*, Galabert (*Lantana camara*), Goyavier (*Psidium guajava*), Bambou balai (*Thysanolaena latifolia*), Jambrose (*Syzygium jambos*), Lycopode (*Lycopodium clernua*).

Au niveau de la composition des nids, 4 éléments végétaux et 5 espèces végétales ont été identifiés (Fig. 10b).

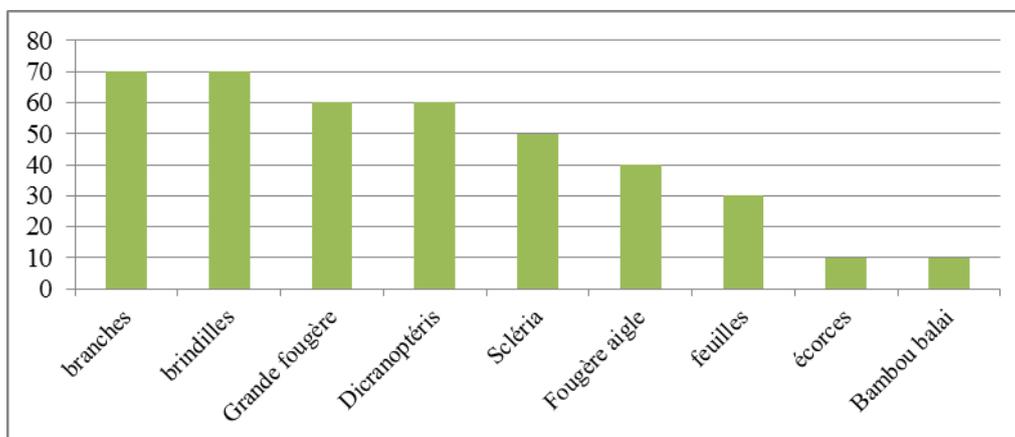


Figure 10b : Nombre de nids (en %) ayant dans leur composition ces éléments végétaux. Espèces indéterminées pour les branches, brindilles, feuilles mortes et écorces.

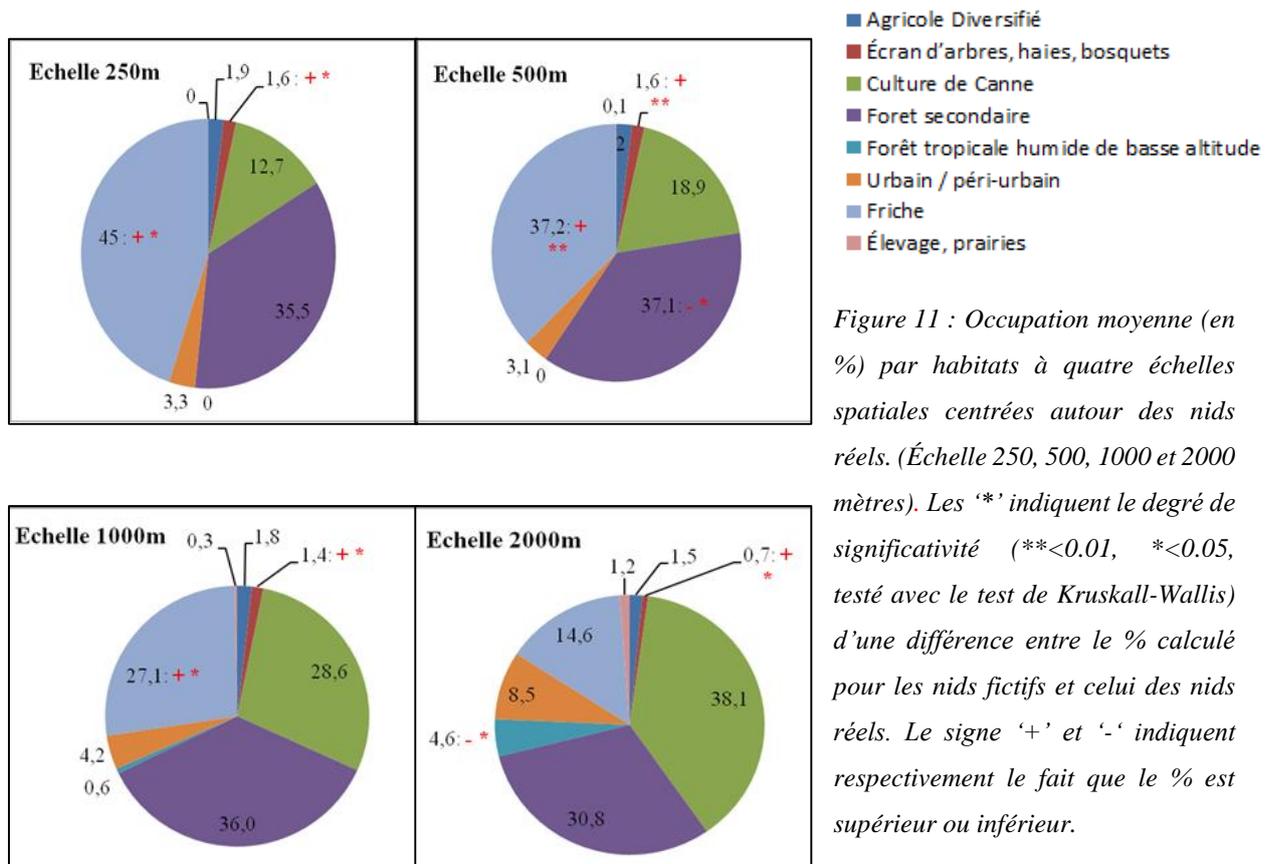
Les éléments végétaux composants le nid sont plus ou moins dégradés et secs selon l'âge et le stade du nid mais les caractéristiques des feuilles et frondes des fougères, du Scléria et du Bambou balai ont permis leur identification. Les branches et brindilles d'autres espèces n'ont en revanche pas pu être identifiées, mais 70% des nids en était constitués. En revanche les autres 30% étaient composés soit de frondes de Grande fougère (20%) ou de tiges de Bambou balai

(10%). Les feuilles mortes n'ont pas pu être identifiées, excepté celles du Scleria entrant dans la composition de la moitié des nids. Concernant les 60% des nids composés de Grande fougère il est à noter que dans la plupart des cas les frondes avaient été couchées de manière à former une base surélevée pour le nid.

6. Sélection de l'habitat autour des nids

6.1. Sélection par type d'habitat au sol

Les pourcentages moyens d'occupation des sols dans les buffers concentriques de rayon 250, 500, 1000 et 2000 m centrés autour des nids fictifs (répartis aléatoirement) et réels ont été comparés grâce au test de Kruskal-Wallis (la synthèse des résultats est disponible en Annexe 11). Les pourcentages moyens d'occupation des sols autour des nids réels sont représentés dans la figure 11. Lorsque les pourcentages moyens pour les nids réels étaient significativement différents de ceux des nids fictifs, le sens de cette différence et sa significativité sont indiqués dans la figure 11.



Les zones de forêt secondaire, de friche et de culture de canne à sucre sont les plus représentées en termes d'habitat autour des nids quelle que soit l'échelle d'analyse, ce qui coïncide avec le fait que ces trois types d'habitats sont les plus représentés à l'échelle de la zone d'étude (respectivement 42.3, 26 et 24.5%). Pour 4 types d'habitats (friche, bouquet d'arbres, forêt secondaire et forêt tropicale humide de basse altitude) on observe une différence significative entre les nids réels et les nids fictifs, ce qui indique une sélection par les busards au niveau de ces habitats, et ce dépendante de l'échelle d'analyse. La friche est l'habitat le plus représenté jusqu'à 500 m autour des nids, mais sa part relative diminue avec l'augmentation de l'échelle d'analyse autour des nids. De plus jusqu'à une échelle de 1000 m le pourcentage moyen de la friche est significativement plus grand que celui des nids fictifs. La forêt secondaire est le deuxième habitat le plus représenté jusqu'à 500 m autour des nids, mais il est significativement moins sélectionné dans un rayon supérieur à 250 m. En revanche au-dessus d'un rayon de 500 m, la proportion moyenne de forêt secondaire n'est pas significativement différente de celle des nids fictifs. Le pourcentage de l'habitat « écran d'arbres, haies, et bosquets » est significativement plus élevé autour des nids réels qu'autour des nids fictifs quelle que soit l'échelle d'analyse. Bien que cet habitat ne soit que peu représenté à l'échelle de la zone d'étude (0.9%), il semble qu'il soit fortement sélectionné, indépendamment de l'échelle d'analyse. La forêt tropicale humide de basse altitude n'est pas ou peu représentée (0-0,6%) jusqu'à 1000 m autour des nids, et devient plus importante à une échelle de 2000 m (i.e. 4,6%) et sa proportion diffère significativement vis-à-vis des nids fictifs.

6.2.Sélection de l'habitat autour des nids : autres éléments

Lignes à haute tension. La longueur moyenne des lignes à haute tension dans des cercles de 250 et 500 m de rayon autour des nids réels (Fig. 12) est plus de deux fois supérieure à celles des nids fictifs. Dans un rayon de 250 m, il y a en moyenne 500 m de ligne cumulée autour des nids réels, contre environ 50 m autour des nids fictifs. À une échelle de 500 mètres, le linéaire de ligne à haute tension est en moyenne de 1500 m autour des nids réels, contre environ 400 m autour des nids fictifs. On retrouve ainsi une plus forte présence et linéaire de ligne à haute tension autour des nids, par rapport aux nids disposés aléatoirement sur la zone d'étude.

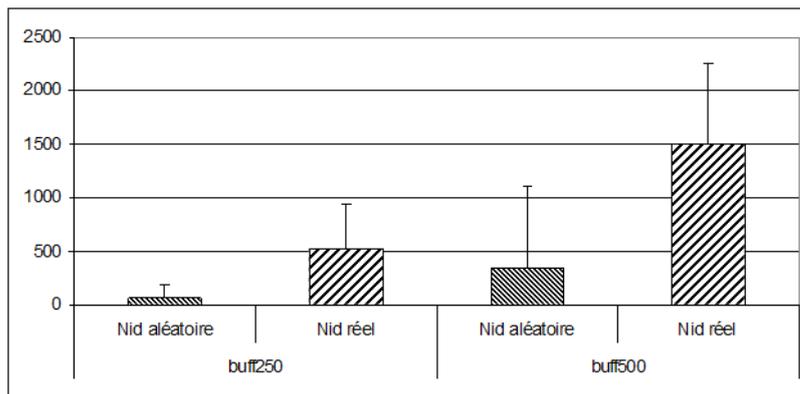


Figure 12 : Longueur moyenne (en m) de ligne à haute tension aux échelles spatiales de 250 et 500 m autour des nids réels et fictifs projetés aléatoirement.

Distance entre les nids et à la côte. Les deux nids les plus proches sont distants de 105 m et les plus éloignés sont à 2,93 km (Fig. 13). En moyenne autour d'un nid, il y a toujours au moins un autre nid dans un rayon de 250 m. La distance moyenne d'un nid à l'habitation humaine la plus proche est de 640m ±480. La distance moyenne entre les habitations et le haut de la zone d'étude est de 1810m ±300. Enfin la distance moyenne entre les nids et la côte est de 4060m ±690. Globalement les oiseaux semblent se cantonner dans les premiers 30% de la zone d'étude (la zone basse).

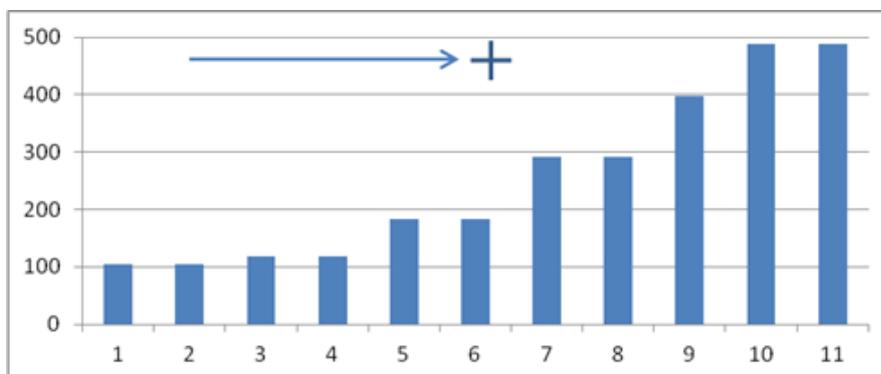


Figure 13 : Distance (en m) entre chaque nid de Busard de Maillard (n=11) et l'autre nid le plus proche, sur la zone d'étude. Le sens flèche indique le degré d'isolation croissant des nids par rapport aux autres.

7. Focales des comportements individuels

Description générale. Au total, 189 focales ont été faites sur 10 points hauts différents. Le nombre de focales par point haut varie de 2 à 67 avec en moyenne 18,9 focales par point. La durée des focales, c'est-à-dire du moment où l'oiseau est repéré jusqu'à ce qu'il soit perdu de vue, varie de 1 à 3580 sec avec une moyenne de 174,6 sec. Le nombre de focales par âge et sexe des oiseaux varie : 105 focales de mâles adultes, 42 focales de femelles adultes, 14 focales de juvéniles (sexe indéterminé) et 28 focales sur des individus dont l'âge et le sexe n'a pas pu être déterminé. Cinquante comportements différents ont pu être observés, 22 d'entre eux ont

été classés dans la catégorie de comportements *états* et correspondent à des comportements relativement longs comme des vols ou lorsque l’oiseau est posé, et les 28 autres ont été classés dans la catégorie de comportement *événements* (par exemple cris, attaques, etc.)

Temps passé par comportement. Au total, 100 heures de comportements ont été recensées (actions dissociées). Le temps passé par comportement sur la durée totale de l’ensemble des focales enregistrées diffère (Fig. 14). Comme attendu, les comportements de type *état* représentent la majeure partie (96%) de la durée totale de focale enregistrée : les comportements de vol (33%) et posé (i.e. lorsque l’individu est posé quel que soit le support ; 31%) représentent près de deux tiers, suivis de près par le comportement de survol (19%), d’ascension (8%), de parade (4%), de chasse (1%). Tandis que les 4% restants sont représentés par les comportements de type *événements* : reproducteurs (3%), d’agressivité (1%) et de sollicitation (>0,1%).

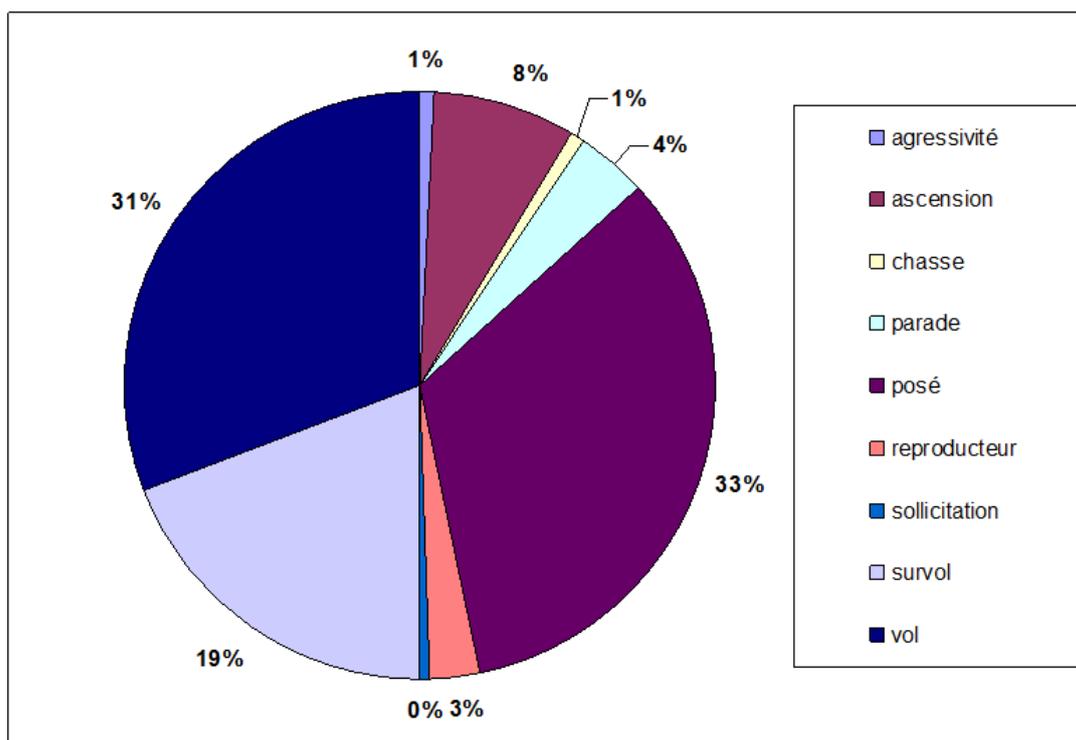


Figure 14 : Temps passé (en %) par type de comportements sur la durée totale de l’ensemble des focales enregistrées.

Type de comportement par habitat. Le temps passé par habitat diffère selon le type de comportement (Tab. 5). En moyenne les oiseaux enregistrés ont passé 85% de leur temps dans

les habitats mosaïque (42%), friche (30%) et forêt secondaire (13%). Les comportements longs se font principalement en mosaïque (86% du temps des parades, 80% du temps des ascensions, 74% du temps des vols) et en friche (83% du temps posé et 77% du temps de survol). Tandis que les comportements courts sont effectués aussi principalement dans ces habitats : en mosaïque on retrouve 64% des comportements agressifs et 51% des comportements de sollicitation, et 55% des comportements reproducteurs sont effectués en zone de friche. Le temps passé en culture de canne est relativement faible (7,6%) mais c'est la chasse qui y est principalement effectuée (62%).

Tableau 5 : Répartition des pourcentages de temps passé par comportement en fonction des types d'habitat de la zone étudiée.

<i>Comportements</i>	<i>Agricole Diversifié</i>	<i>Culture de Canne</i>	<i>Écran d'arbres, haies, bosquets</i>	<i>Mosaïque</i>	<i>Friche</i>	<i>Urbains, péri-urbain</i>	<i>Forêt secondaire</i>
Agressivité	-	-	-	64,3	32,8	-	2,9
Ascension	0,9	-	-	79,9	-	-	19,2
Chasse	-	62,0	-	10,3	5,1	-	22,6
Parade	-	-	-	86,5	-	-	13,5
Posé	0,7	0,4	15,8	0,0	83,1	-	0,0
Reproducteur	1,6	-	28,9	13,5	55,3	-	0,7
Sollicitation	-	-	-	51,3	16,2	4,1	28,4
Survol	3,0	4,9	-	1,5	76,6	0,2	13,8
Vol	2,3	0,8	-	74,2	3,0	-	19,6
Moyenne	0,9	7,6	5	42,4	30,2	0,5	13,4

8. Analyse de l'effet du temps d'observation sur le nombre d'individus contactés

Effet de la durée du temps d'observation sur la proportion totale d'individus contactés.

Lorsque l'on compare la proportion d'individus contactés durant les 3 périodes (0-5 min, 0-10 min et 0-15 min) sur les deux passages (0-15 min et 45-60 min) confondus, on observe qu'au bout de 5 min on a contacté 60% et en 10 min, 84% du nombre total d'individus contactés en 15 min (Fig. 15a). Cependant, si les deux passages sont analysés de manière dissociée, on remarque une variabilité : durant la première classe de période (0-5 min) 40 à 80 % du nombre d'individus total sont contactés et durant la deuxième classe de période (0-10 min), entre 74 et

93% sont contactés (Fig. 15b). De plus, les proportions entre les 3 classes de périodes (0-5, 0-10, 15 min) sont significativement différentes ($H= 43.7$, $ddl=7$, $P < 0.001$), et les proportions entre les 2 passages (0-15, 45-60 min) significativement différentes ($H= 29.5$, $ddl=7$, $P < 0.001$).

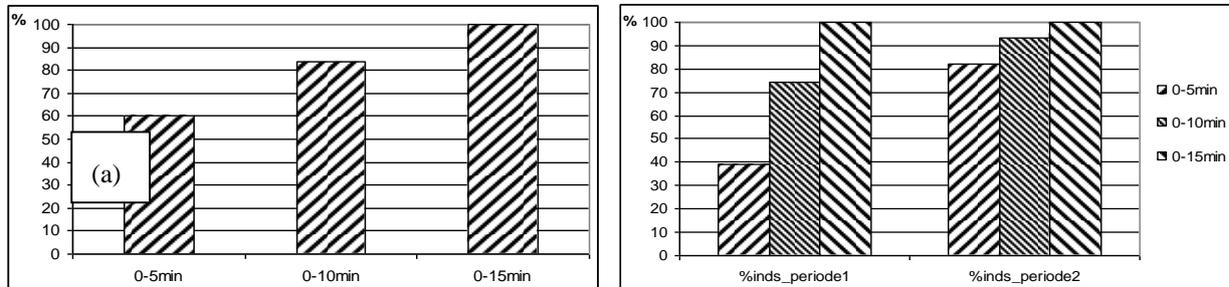


Figure 15 : Proportions moyennes (en %) d'individus contactés par point d'observation lors des périodes de 0 à 5 min et de 0 à 10 min sur la proportion totale d'individus contactés en 15 minutes, sur les deux passages de 15 minutes (0-15 min et 45-60 min) confondus (a) et dissociés (b).

Modèle statistique portant sur le nombre d'individus contactés. Le modèle choisi est celui avec le plus faible AICc (Annexe 11). On observe (Tab. 6) que le nombre d'individus contactés est affecté négativement par la date et l'heure à laquelle a été fait le suivi, ainsi le nombre d'individus diminue avec l'avancée de la saison ($z= -2.467$, $P=0.014$) et des heures de la journée ($z= -2.033$, $P=0.042$). De plus nous observons un effet lié à l'observateur, presque significatif ($z= 1.882$, $P=0.06$). Parmi les trois modèles en compétition, nous observons que le modèle prenant en compte les variables période de comptage et le passage affecte le nombre d'individus total. On observe aussi un effet du temps de comptage significatif, plus on augmente le temps de comptage plus on observe d'individus. De plus on observe un effet positif du passage, ainsi au deuxième passage on observe plus d'individus.

		Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
Tableau 6 : Résultats du modèle de GLMer sélectionné avec le plus faible AICc.	(Intercept)	0.91092	0.40461	2.251	0.0244 *
	Jul	-0.02666	0.01080	-2.467	0.0136 *
	Heure	-0.04502	-0.02215	-2.033	0.0421 *
	Obsj1	0.33264	0.17673	1.882	0.0598 .
	Periods2	0.40546	0.17938	2.260	0.0238 *
	Periods3	0.69315	0.17018	4.073	4.64e-05 ***
	Pass2	0.31013	0.13258	2.339	0.0193 *

IV. DISCUSSION

L'objectif de ce travail était de définir plus précisément si un suivi exhaustif pouvait être mis en place sur une zone délimitée, et ce afin d'évaluer si le travail accompli sur cette zone d'étude pouvait être reproduit. De plus, la viabilité des actions de conservation sont dépendantes des capacités et possibilités que l'on a, à recueillir des informations sur une espèce donnée, ainsi un élément clef émanant de cette étude, est l'amélioration des connaissances sur la répartition des nids au sein d'une zone donnée, cumulée au recueil de données sur les paramètres de reproduction. Par la suite, une pression d'échantillonnage intense sur le terrain nous a permis d'affiner les connaissances préalables sur l'utilisation de l'habitat du Busard de Maillard, et ce au cours de multiples séries de focales. Enfin nous avons mis en avant un effet du temps d'observation pouvant affecter le nombre réel d'individus présents, ce type de résultat est primordial afin de définir plus précisément le temps d'observation minimum nécessaire pour obtenir une réelle représentativité du nombre d'individus et couples présent à fine (site) et large échelle (île).

1. Dénombrement des couples reproducteurs sur la zone d'étude

On peut remarquer que la densité de couples certains (5,65/10km²) et probables (2,5/10km²) calculée pour les points échantillonnés est clairement plus élevée que les anciennes estimations faites sur des sites où la densité avait été estimée comme importante à l'époque, avec 3,3 couples/10km² (Clouet 1978) et 0,6-3,4 couples/10km² (Ghestemme et *al.* 1998). Cela peut être expliqué par une meilleure prospection et un suivi exhaustif qui nous permettent de mieux affiner le nombre de couples réels. On obtient ainsi 40% de couples (pour une unité de surface de 10km²) en plus par rapport aux deux autres estimations. De plus on observe en moyenne 46% de mâles adultes, 31% de femelles adultes, 3% de jeunes de l'année (mâles et femelles confondus car le plus souvent indéterminé) et 20% d'individus de sexe et d'âge indéterminés. Ces derniers pourraient être en partie des oiseaux de 2^{ème} ou 3^{ème} année et/ou des femelles. Si tel est le cas, alors la proportion de femelles serait plus importante, ce qui donnerait un sexe ratio presque équilibré, bien que toujours biaisé en faveur des mâles.

2. Caractérisation et sélection de l'habitat de reproduction

2.1. Détection des nids

Au total 17 couples certains ont été dénombrés et 11 nids ont pu être localisés. La méthode d'alignement des nids demande souvent plusieurs observations répétées avant de localiser avec certitude un emplacement de nid, notamment par l'observation d'un passage de proie entre mâle et femelle, où le retour de la femelle avec la proie permettra d'identifier la zone potentielle (mais restreinte) de nidification. Parfois il se peut que la femelle ne retourne pas directement à son nid et se pose sur une zone où elle a l'habitude de consommer sa proie avant de retourner au nid (*obs. pers* : 25m autour du nid). Ce comportement a été observé notamment par Gonin (2001), ce qui peut rendre la tâche plus difficile et surtout plus longue. En revanche un oiseau transportant des matériaux pour le nid permettra plus certainement de localiser un nid mais aussi le stade (le taux d'apport de matériaux diminue voir s'arrête avec la présence des jeunes). La majorité des nids en ébauche ont d'ailleurs été localisés grâce à l'observation d'un apport de matériaux.

Un autre aspect problématique lié aux contextes difficiles et accidentés de la zone d'étude concerne la visibilité sur les points hauts. Bien que les meilleurs points d'observation aient été sélectionnés, le relief très escarpé constitue un facteur limitant la détection de certains comportements. Il est arrivé notamment en fin d'étude d'observer une femelle transportant des matériaux, disparaître dans une zone où la visibilité était très mauvaise et où encore aucune observation d'individus n'avait été faite. Ces aléas d'échantillonnage montre que cette méthode d'alignement des nids nécessite d'avoir une connaissance suffisante des sites (grâce à une première prospection de la zone via l'ensemble des sentiers) mais aussi et surtout la meilleure visibilité possible sur une zone précise et enfin de faire des observations répétées sur plusieurs jours. Enfin il semble aussi important d'effectuer des observations longues au moins sur toute la matinée pour détecter d'éventuels comportements reproducteurs, pouvant amener à localiser un nid, et distinguer des couples entre eux.

2.2. Caractéristiques des nids et de l'habitat alentour

2.2.1. Caractéristiques des nids

L'échantillonnage sur les nids sur la zone d'étude a permis d'obtenir une première caractérisation physique des nids du Busard de Maillard. Sur la zone d'étude les nids sont situés entre 58 et 197 m d'altitude, pour en moyenne 149 m d'altitude. L'altitude au sein de la zone

d'étude étant comprise entre 30 et 350 m, la répartition en termes d'altitude des nids sur la zone d'étude semble moins élevée que la répartition théorique des couples situés entre 0 et 1600 m d'altitude identifiée par (Ghestemme et al. 1998 ; Bretagnolle et al. 2000^{a,b}), avec un maximum de couples localisés entre 300 et 700 m et puis un déclin à partir de 1200 m (Bretagnolle et al. 2000^{a,b}). Bien que dans ce cas précis il est important de noter que le nombre de couples n'est pas directement lié au nombre de nids. De plus, il est possible que des effectifs soient plus importants sur les parties supérieures à notre zone d'étude, ce qui irait dans le sens d'un maximum de couple entre 300 et 700 m. Cependant l'essentiel des couples sont présent au sein des 30 % de la partie basse, là où son précisément l'ensemble des nids trouvés. Ainsi dans notre cas, aussi bien les couples et les nids sont situés sur les altitudes basses.

Les nids ont été caractérisés en terme de dimensions, et le diamètre moyen des nids (de 44 à 53 cm) est nettement moins élevé que les données des études précédentes (60 à 70 cm, Clouet, 1978). Cependant ce type de dimensions correspond au diamètre maximum relevé au cours de notre étude. De plus, les mesures citées ci-dessus correspondent essentiellement à des nids situés à plus haute altitude (massif de la Montagne, hauts de Saint-Denis et de la Grande Chaloupe) où l'accès aux nids peut être plus difficile pour les oiseaux, avec un besoin d'une aire plus large pour les jeunes en zone accidentée, se traduisant par un diamètre au nid plus important. Enfin, 50% des nids sont exposés sur les versants Est, ce qui pourrait être lié au lever du soleil à l'Est et donc à exposition à une plus forte luminosité le matin. Cela pourrait ainsi influencer l'heure de début d'activité des oiseaux : ceux dont le nid est exposé à l'Est auraient tendance à avoir une activité plus tôt. Par ailleurs, en période d'incubation et de nourrissage des jeunes, les proies sont apportées tôt par le mâle (environ une heure après le lever du jour ; Clouet 1978). Les femelles qui choisissent des zones de nidification exposées à l'Est auraient ainsi tendance à être mieux sélectionnées car nourries plus efficacement.

2.2.2. Espèces végétales

Le recouvrement végétal autour de l'ensemble des nids est très dense (100%). La composition en espèces végétales autour des nids permet de caractériser le type d'habitat impliqué dans le choix du lieu de nidification et nous donne un aperçu de la composition des friches de la zone d'étude, ou du moins sur les sites sélectionnés par le busard. Dans un rayon de 10 m autour des nids la présence d'arbres ou arbustes est systématique, et sont souvent utilisés comme perchoirs par les busards. La présence de fougères est aussi systématique autour des nids et leurs frondes sont souvent utilisées pour la composition des nids. Ce point est

extrêmement important car il devient un élément important pour la recherche de nids sur de futures zones, ainsi la presque totalité des nids sont situés au sein de clairières de surface plus ou moins importante, composées à majorité de fougères et entourées de formations arborées. Cette technique pourrait être utilisée afin d'orienter les recherches des couples et nids sur de futures zones d'étude.

Les nids échantillonnés sont constitués de branches et de brindilles dont un total de cinq espèces entrant dans la composition a pu être identifié : les feuilles et frondes des fougères *Nephrolepis biserrata*, *Dicranopteris linearis* et la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*), les feuilles de *Scleria sieberi*, (Cyperaceae), et plus rarement les feuilles et tiges du Bambou balai (*Thysanolaena latifolia*). Il est probable que cela soit lié au fait que ces plantes sont facilement accessibles, faciles à arracher ou encore car elles sont disponibles toute l'année et en grande quantité.

Pour finir, les nids sont peu surélevés et la végétation autour des nids échantillonnés est en moyenne de plus de 160 cm de haut à partir du sol et de 115 cm à partir du nid. Ces caractéristiques suggèrent que l'habitat sélectionné fournit une bonne dissimulation du nid tant au niveau de la densité que de la hauteur de la végétation. On peut aussi émettre l'hypothèse que l'espèce a besoin d'une forte couverture végétale au-dessus du nid afin de se prémunir des conditions climatiques (pluie, vent), d'un accès direct des rayons du soleil sur les œufs (pouvant impacter négativement le succès d'éclosion), ou encore contre de possibles prédatations aériennes éventuelles (des busards eux-mêmes ?).

2.2.3. Contenu des nids

Les œufs trouvés dans deux nids différents (2 et 3 œufs) mesuraient en moyenne 49,3 mm de longueur et 37,3 mm de largeur ce qui est proche des dimensions relevées par Clouet (1978) sur 4 pontes de 3 œufs (longueur : 46-51 mm, largeur : 35-37mm). Les données sur les jeunes sont faibles : un jeune presque volant dans un nid et deux poussins dans un autre mais cette fécondité réelle correspond à celle connue chez le Busard de Maillard (1 ou 2 par couple, plus rarement 3 (Cheke, 1987).

Selon Clouet (1978) la fécondité potentielle (nombre d'œufs) et réelle (nombre de jeunes) du Busard de Maillard, paraît très faible comparée à d'autres espèces comme le Busard des roseaux (*Circus aeroginus*, 3 à 8 œufs pondus). Il suggère que cette basse fécondité serait le résultat de l'évolution dans un contexte de milieu insulaire, où la prédation est quasi-

inexistante, et la dispersion et l'espace disponible sont limités. De plus les nids des différents couples sont souvent rapprochés, cette densité pourrait être la cause de l'évolution vers une désynchronisation et un étalement des dates de pontes en vue d'optimiser l'utilisation des ressources et donc d'éviter une trop forte compétition intraspécifique (Clouet 1978), ou pourrait être due à un manque de comportement territorial des busards à l'écart de la proximité immédiate de leurs nids (Bretagnolle et al. 2000b).

2.3.Sélection de l'habitat autour des nids et modélisation

2.3.1. Sélection du type de milieux d'occupation des sols : habitat aux alentours

Les zones de forêt secondaire, en friche et de culture de canne à sucre sont les plus représentées en termes d'habitat autour des nids quelle que soit l'échelle d'analyse, cependant bien que ces trois types d'habitats correspondent aux habitats les plus présents à l'échelle de la zone d'étude, les oiseaux semblent tout de même rechercher spécifiquement cette configuration par opposition à une disposition aléatoire.

La friche, qui représente un quart de l'occupation des sols de la zone d'étude, est l'habitat le plus sélectionné à proximité directe des nids ainsi que jusque dans un rayon de 1000 m autour des nids (45% à 27%). Cela s'explique par le fait que l'ensemble des nids de busards sont situés dans des zones de friches.

L'habitat « écran d'arbres, haies, et bosquets » est sélectionné par les busards à proximité directe du nid mais aussi à l'échelle de la zone. Le fait que cet habitat soit peu représenté à l'échelle de la zone (0,9%) mais qu'il soit sélectionné à chaque fois dans l'habitat alentour des nids suggère son importance en terme de ressource pour les busards. Cela peut être expliqué par le fait que les individus se posent couramment sur des perchoirs à proximité des nids. Notamment les mâles en période de reproduction, pour le toilettage, ou encore pour le repos. L'arbre leur permettant d'avoir une bonne visibilité de la zone, le nid mais aussi un camouflage.

La forêt secondaire est un habitat très représenté autour des nids quelle que soit l'échelle, ce qui est lié au fait que cet habitat représente 40% de l'occupation des sols sur la zone d'étude. Cet habitat est cependant moins sélectionné dans un rayon supérieur à 250 et 500 m que pour les nids fictifs et que pour la moyenne de la zone, ce qui peut en partie s'expliquer par un besoin d'optimiser la visibilité autour du nid. On peut aussi émettre l'hypothèse que les bosquets d'arbres suffisent comme zone de reposoir (par exemple pour la surveillance du nid) autour du

nid, et que la plus faible proportion en forêt secondaire (par rapport aux nids fictifs) à 250 et 500m, lui permet d'avoir un accès à un plus grand linéaire de forêt, utilisé comme zone de chasse à proximité.

Enfin, la forêt tropicale humide est très peu représentée dans la zone d'étude (0,2%). Le fait que dans un rayon de 2000 m cet habitat soit plus représenté qu'aux échelles inférieures indique qu'il n'est pas une priorité dans la sélection de l'habitat de ces couples, cela corrobore avec le fait que les oiseaux utilisent préférentiellement des zones de friches afin de s'y installer et que ce type d'habitat est situé à proximité des zones d'habitations dans la zone basse.

2.3.2. Autre éléments de l'habitat.

Lignes à haute tension. La zone d'étude est traversée par deux lignes à haute tension. Les résultats montrent que les nids ont tous au moins une ligne à haute tension dans un rayon de 250 m et 75 % d'entre eux ont deux lignes à haute tension dans un rayon de 500 m autour du nid. Les zones autour des pylônes à haute tension ont été défrichées auparavant pour leur pose ainsi que pour leur entretien, ce qui a conduit à la formation de friches aux alentours des pylônes et sous les lignes, qui se trouvent être le type d'habitat où les busards construisent leurs nids. Il est possible que cela soit un artefact car les zones de friches sélectionnées préférentiellement sont aussi situées sur le haut des zones urbanisées et à proximité de maisons isolées. La localisation des lignes à haute tension à ces emplacements est liée à certaines contraintes liées à des normes (dérangement, sécurité, pollution visuelle...). Cette information n'est pas sans importance car les collisions sont identifiées comme être une des trois menaces majeures pesant sur l'espèce avec plusieurs cas recensés de collisions avec des lignes électriques (Probst 1996, SEOR). Ces collisions peuvent se faire notamment lors des prises d'ascendances par les busards, lors des parades ou encore lors des premiers vols des jeunes qui sont confrontés au moment de leur émancipation à la présence d'un fort linéaire de ligne électrique (Grondin & Philippe 2011).

Distance entre les nids. Autour d'un nid, il y a au moins un autre nid dans un rayon de moins de 500 m. Cette distance est relativement faible comparée à la taille de la zone d'étude. Cela pourrait s'expliquer soit par le fait que la population de Busard de Maillard pourrait tendre à être semi-coloniale comme cela a déjà été suggéré par Clouet (1978), Gonin (2001) et Grondin & Philippe (2011) ; ou bien par le fait que cette agglomération est le résultat d'une forte sélection d'un même habitat par les busards. Il est important de souligner aussi que le Busard

de Maillard n'est pas territorial et effectue peu de comportement agressifs sauf à proximité directe du nid (Clouet 1978, Cheke 1987, Gonin 2001, Grondin & Philippe 2011) ce qui vient en appui des deux hypothèses précédentes.

Distance à l'habitation. Globalement on observe que les oiseaux semblent se cantonner dans les premiers 30% de la zone d'étude (la zone basse), où sont concentrées les habitations humaines. Cette répartition se signifie pas forcément que les oiseaux cherchent à être proches des zones habitées mais semble plutôt être induite par la répartition des patches de zone de friche, étant en large partie attenants aux zones habitées, comme cela avait été noté par Bretagnolle et al. 2000^b.

3. Sélection et utilisation de l'habitat pour les comportements individuels

Les focales ont permis l'observation de 50 comportements différents, qui ont été classés selon deux catégories (*états* et *événements* ; définis par Martin & Bateson (1993)). Leur standardisation pourra être réutilisée dans le cadre d'autres analyses éthologiques sur le Busard de Maillard.

En moyenne les oiseaux observés passaient un tiers de leur temps à voler en mosaïque d'habitat. Ce comportement est souvent observé haut au-dessus des ravines pour aller et venir entre les crêtes, ainsi que lors des prises d'ascendance en vol plané durant lesquelles les busards utilisent les courants d'air chaud. Le relief escarpé lui permet donc ainsi de limiter au moins en partie ses efforts de vol. Un autre tiers de leur temps est passé « posé », essentiellement en zone de friche (aire de nidification) mais aussi sur des arbres (perchoirs). La chasse en survol a principalement été observée au-dessus des champs de canne à sucre et plus rarement en canopée de forêt secondaire (à noter que les champs de canne à sucre sont plus proches à vol d'oiseau que les zones de forêt secondaire).

Pour finir, dans le cadre des focales individus, les mâles adultes ont été beaucoup plus observés (71%) que les femelles adultes (21%), les jeunes (7%) et les oiseaux de sexe et d'âge indéterminés. Les focales « individus » se font aléatoirement sur les premiers individus observés sans choix de la part de l'observateur, on peut donc émettre les hypothèses que d'une part il se pourrait que le sexe ratio soit réellement biaisé en faveur des mâles (par comparaison avec le sex-ratio observé avec les focales d'activités/dénombrement des couples reproducteurs, 46% de mâles et 31% de femelles). D'autre part il se peut aussi que cela soit dû, essentiellement ou en partie, au fait que les mâles sont plus actifs car en pleine saison de reproduction (bien que

la plupart des nids soient au stade d'ébauche plus ou moins avancée). De plus si les femelles sont au nid, voir en couvain il est rare de les voir s'envoler sauf lorsque le mâle apporte une proie. Le fait que peu de jeunes ait été observés est peut être lié au fait que d'une part le Busard de Maillard est connu pour avoir un étalement de la reproduction à l'échelle de l'année (Clouet 1978, Gonin 2001), ou encore que sa fécondité réelle (en nombre de jeunes) est considérée comme plutôt basse (Clouet 1978).

3. Habitat et conservation

Il apparait que les lignes et pylônes à haute tension sont situés dans les zones sélectionnées par le Busard de Maillard pour nicher car l'ouverture des milieux pour la pose des pylônes a aussi créé des zones de friches. Or, les collisions, notamment avec les lignes à haute tension, sont présentées comme une des trois menaces majeures pour l'espèce. La forte présence de ces lignes et pylônes pourrait donc avoir un impact négatif non négligeable lors de la saison de reproduction, notamment au cours des parades et de l'envol des jeunes.

Un des points remarquables est que la friche, habitat qui résulte d'une ancienne modification d'origine anthropique, est sélectionnée exhaustivement par le busard pour nicher sur la zone d'étude. Ainsi, l'habitat de reproduction utilisé aujourd'hui par le Busard de Maillard dans une zone typique d'interface entre milieu naturel et milieu anthropisé résulte d'une modification humaine qui n'existait pas avant la colonisation de l'île par l'homme. Les variations du succès reproducteur du busard de Maillard en fonction des caractéristiques de son environnement n'ont pas encore été précisément étudiées. Il a pourtant été montré que des populations de Busard des roseaux, *Circus aeruginosus*, vivant dans un milieu intensément cultivé (selon un gradient d'intensification) avaient un meilleur succès reproducteur que celles vivant dans un milieu plus naturel, bien que celui-ci abrite des densités de population plus importantes (Sternalski et al. 2013). La colonisation intensive des habitats agricoles pourraient ne pas avoir nécessairement des répercussions négatives sur la viabilité de la population si un compromis entre succès de reproduction et densité de la population s'est établi (Sternalski et al. 2013). De plus lors de cette étude nous avons pu observer que ces zones de friches denses contenaient assez souvent des chemins tracés, soit par des chasseurs de tangles, des ramasseurs de nids de guêpes, ou encore par des braconniers. Les chemins forment souvent des trouées assez larges, et près de 40% des nids trouvés avaient un chemin tracé à proximité. Ce type de dégradation de l'habitat pourrait avoir une forte influence négative, d'une part en cas de

braconnage, et d'autre part parce que l'accès est favorisé pour des prédateurs potentiels comme des chiens.

4. Analyse de l'effet du temps d'observation sur le nombre d'individus contactés

Les analyses ont permis de mettre en évidence que les recensements doivent prendre en compte plusieurs paramètres à minima. Le nombre d'individus contactés est ainsi dépendant de la date à laquelle le comptage est fait, mais aussi de l'heure. Ce point est très intéressant, car les deux grandes enquêtes menées à l'échelle de l'île ont été établies sur plusieurs mois, ce qui a très probablement induit un biais inhérent au dispositif appliqué. De plus, nous avons démontré que le nombre d'oiseaux détectés augmente avec la durée d'observation et entre les deux passages. La différence majeure entre les deux passages est liée au dérangement qui est créé lors de notre arrivée sur un site, ce qui affecte significativement le nombre d'individus contactés. Ainsi ce résultat nous amène à proposer la mise en place de points d'observations de 45 min, composé de 30 min d'observations *ad-libitum* (définir si des individus ont des caractéristiques de plumage, mue...) et 15 min de focale de type *Distance sampling*. Ainsi lorsque nous commençons le deuxième passage nous sommes restés camouflés et statiques pendant 30 minutes, ce qui pourrait permettre une reprise des activités sur la zone, et ainsi augmenter l'abondance moyenne. Par ailleurs le but de cette analyse était de définir sur quel pas de temps un recensement par point d'observation peut permettre d'obtenir un résultat proche de 100% des individus présents en un temps minimum. Ainsi une première étape consisterait à établir des séries de comptages de 5 min reproduites jusqu'à obtenir une saturation dans les proportions d'effectifs obtenues, afin de définir une période de comptage appropriée par point haut. Pour cela l'idée serait d'établir un suivi par points hauts sur des zones d'habitats différents afin de recenser la population mais aussi de trouver les nids. Nous pourrions ainsi définir un temps de comptage approprié le moins long possible (dans l'objectif d'établir le plus de points possibles sur une zone la plus large possible, *i.e.* l'île de La Réunion), nous permettant de relier au mieux le nombre de couple présents et le nombre de nids potentiels.



Photographies d'un Busard de Maillard femelle sur la zone de La Caroline, à Bras-Panon.

Mai (haut), Mars (bas) 2013 – © Laurent Brillard.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le premier objectif de cette étude était d'améliorer les connaissances sur l'écologie peu connue du Busard de Maillard. La zone d'étude de la Caroline bien que de basse altitude et proche des zones urbanisées accueille une densité très importante de busards avec 5,65 et 2,5 couples/10km² (respectivement couples certains et couples probables). Pour la première fois à notre connaissance, un très grand nombre de nids ont pu être localisés (11 nids). Cet élément a permis d'une part d'obtenir une description poussée des nids et des zones de nidification, et d'autre part une description de la sélection en termes d'habitat à diverses échelles autour des nids grâce à une analyse cartographique et modélisatrice. Ainsi, au sein de cette zone d'étude de 8 km² située à l'interface de milieux naturels et anthropisés, le Busard de Maillard niche essentiellement dans des zones de friches à proximité de patches arborés de taille variable composés de végétation secondaire. Si ce busard semble s'accommoder de ce type d'habitat car il semble lui fournir toutes les ressources nécessaires à sa reproduction, il est cependant possible que sa survie soit négativement impactée par la forte présence des lignes à haute tension, de la proximité des champs de canne dératés ainsi que par le passage de braconniers et chasseurs, qui constituent les trois menaces identifiées comme majeures pour cette espèce.

A la question, « un suivi exhaustif d'une « population » de Busard de Maillard est-il possible en un lieu donné ? », nous démontrons qu'il est possible d'appréhender et de récupérer des informations sur la biologie de la reproduction de l'espèce. Cependant cela a un coût humain (85 heures de focales d'observation, sans compter les phases exploratoires, de recherche et visites de nids, etc.) ; mais qui peut être minimisé en ajustant plus précisément la relation entre nombre de couples et nombre de nids, et ce afin d'utiliser des protocoles justifiés dans le cadre d'une étude à large échelle. L'intérêt principal étant à l'avenir de multiplier les sites d'études, notamment dans des habitats et des localisations différentes à l'échelle de l'île de La Réunion, afin de pouvoir comparer différents paramètres comme la sélection et l'utilisation de l'habitat, les paramètres de reproduction ainsi que les déplacements du Busard de Maillard.

De nombreuses questions de recherche appliquée sur l'écologie des populations et des communautés sont posées dans un contexte spatial, car les individus interagissent généralement très localement dans un environnement qui est souvent hétérogène. C'est pourquoi, étudier les mouvements des individus est une manière efficace de déterminer les caractéristiques du paysage qui restreignent l'utilisation de l'habitat (par exemple des structures humaines ou des

types d'habitat que les animaux évitent). De telles contraintes sur l'utilisation de l'habitat, particulièrement dans un contexte de changement global qui modifie la distribution et la disponibilité des ressources, peuvent nuire à la performance individuelle et donc à la démographie de la population (Gaillard *et al.* 2010). Il est donc essentiel pour les chercheurs et les acteurs de la conservation de comprendre précisément les mécanismes qui lient les déplacements des individus, la structure du paysage et les paramètres démographiques. Les avancées récentes dans le suivi des espèces par GPS augmentent les possibilités d'obtenir des informations précises sur les trajectoires des mouvements individuels (ainsi que sur les effets des lignes à haute tension, éoliennes, zones urbanisées...) et les paysages traversés (temps et type d'utilisation par habitats ; Morales *et al.* 2010), ce qui permettrait alors d'aider à définir des habitats et sites de protections prioritaires, voir proposer des extensions du Parc National de La Réunion sous diverses formes.



Photographie d'un Busard de Maillard sur la zone d'étude de La Caroline.

Mai 2013 – © Colombe Valette



Photographie d'un poussin de Busard de Maillard presque volant dans un nid de La Caroline.

Février 2013 – © Colombe Valette

BIBLIOGRAPHIE

Les documents sont consultables dans les bureaux de la Société d'Études Ornithologiques de La Réunion.

- Altmann, J. 1974. Observational study of behavior: sampling methods. *Behavior* 49 : 227-267.
- Barré, N., Barau, A. & C. Jouanin. 1996. *Oiseaux de La Réunion*. Édition du Pacifique, Paris. 207 p.
- Bates, D., Maechler M. & Bolker, B. 2011. lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and Eigenfaces. R package version 0.999375-42. (<http://CRAN.R-project.org/package=lme4>)
- Bird, D.M. & K.L. Bildstein (eds). 2007. *Raptor research and management techniques*. Blaine, USA: Hancock House Publishers.
- BirdLife International. 2013. Species factsheet: *Circus maillardi*. Téléchargé sur www.birdlife.org le 15/01/2013.
- Bretagnolle, V., Thiollay, J.M. & C. Attié. 2000^a. Status of Reunion Marsh Harrier *Circus maillardi* on Reunion island. Chancellor, R.D. & B.U. Meyburg (eds). *Raptors at risk*. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin, and Hancock House, Blaine, WA U.S.A. p. 669-676.
- Bretagnolle, V., Ghestemme, T., Thiollay, J.M. & C. Attié. 2000^b. Distribution, population size and notes on the Reunion Marsh Harrier, *Circus maillardi*. *The raptor Research Foundation, INC* 34 (1): 8-17.
- Brooks, T., Mittermeier, R.A., da Fonseca, G.A.B., Gerlach, J., Hoffmann, M., Lamoreux, J.F., Mittermeier, C.G., Pilgrim, J.D. & S. L. Rodrigues. 2006. Global biodiversity conservation priorities. *Science* 313: 58-61.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava D.S. & S. Naeem. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486: 59-67.
- Cheke, A. 1987. *The ecology and distribution of native land birds of Reunion. Reunion Harrier (Circus maillardi) Verreaux*. In Diamond A.W. Edition Studies of Mascarene island birds. Cambridge University Press, p. 311-314.
- Clouet, M. 1978. Le Busard de Maillard (*Circus aeruginus maillardi*) de l'île de La Réunion. *L'Oiseau et la Revue Française d'Ornithologie* 48(2) : 95-106.
- Dearing, J., Battarbee, R.W., Dikau, R., Larocque, I. & F. Oldfield. 2006. Human environment interactions: towards synthesis and simulation. *Regional Environmental Change* 6: 115-123.
- Dirzo, R. & P.H. Raven. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environmental Resources* 28 : 137-167
- Dubois. 1674. *Les voyages faits par le Sieur D.B. aux îles Dauphine ou Madagascar et Bourbon, ou Mascarene ès années 1669, 1670, 1671 et 1672*. Claude Barbin, Paris. 234 p.
- Edwards, T.C.Jr., Deshler, E., Foster, D. & G.G. Moisen. 1996. Adequacy of

- wildlife habitat relation models for estimating spatial distributions of terrestrial vertebrates. *Conservation Biology* 10:263-270.
- Ellis, E.C. 2011) Anthropogenic transformation of the terrestrial biosphere. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 369 : 1010-1035
- Ferguson-Lee, J. & D. Christie. 2008. *Guide des rapaces diurnes du monde*. Edition française, Delachaux et Niestlé SA, Paris. 320 p.
- Foley J.A, et al. 2005. Global consequences of land use. *Science*. 309:570–574.
- Gaillard, J.M., Hebblewhite, M., Loison, A., Fuller, M., Powell, R., Basille, M. & B. Van Moorter. 2010. Habitat-performance relationships: finding the right metric at a given spatial scale. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365: 2255–2265.
- Ghestemme, T., Portier, E. & M. Le Corre. 1998. *Recensement de la population de Papanges de la Réunion, Circus maillardi maillardi, densité et distribution des couples reproducteurs*. SEOR. 14 p et Annexes 10 p.
- Gonin, J. 2001. *Le « Papangue », un endémique rare et méconnu*. Rapport de BTS Gestion et Protection de la Nature, Programme de recherches des Oiseaux terrestres de La Réunion SEOR. 38 p.
- Grondin, V. & J.S. Philippe. 2011. *Plan de conservation du Busard de Maillard (Circus maillardi)*. SEOR et BIOTOPE pour la DEAL, la Région Réunion, Aérowatt et la Ville de l'Etang-Salé, 81p. (et atlas cartographique)
- Groves, C.R., Jensen, D.B., Valutis, L.L., Redford, K.H., Shaffer, M.L., Scott, J.M., Baumgartner, J.V., Higgins, J.V., Beck, M.W. & M.G. Anderson. 2002. Planning for biodiversity conservation: putting conservation science into practice. *American Institute of Biological Sciences* 52(6) : 499-512.
- Jakubek, G., Le Corre, M., Gerdil, T., Barré, S. & N. Besnard. 1997. *Distribution du Papangue (Circus maillardi) à La Réunion: résultats préliminaires et proposition méthodologique*. SEOR, *Taille-Vent* 3: 3-6.
- Lagabrielle, E., Rouget, M., Payet, K., Wistebaar, N., Durieux, L., Baret, S., Lombard, A. & D. Strasberg. 2009. Identifying and mapping biodiversity processes for conservation planning in islands: A case study in Réunion Island (Western Indian Ocean). *Biological Conservation* 142: 1523–1535.
- MacArthur, R.H. & E.O. Wilson. 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton, New Jersey. Princeton University Press.
- Maillard, L. 1863. *Notes sur l'île de La Réunion (Bourbon)*. Volume 1. Paris. p. 159-162.
- Martin, P. & P. Bateson. 1993. *Measuring behaviour: an introductory guide*, 2nd Ed. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Morales J.M., Moorcroft P.R., Matthiopoulos J., Frair J.L., Kie J.G., Powell R.A., Merrill E.H. & D.T. Haydon. 2010. Building the bridge between animal movement and population dynamics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365 : 2289–2301

- Mourer-Chauviré, C., Bour, R. & S. Ribes. 2004. The taxonomic identity of *Circus alphonsi* (Newton & Gadow 1893), the extinct harrier from Mauritius. *Ibis* 146: 168-172.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. & J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403 : 853-858.
- Norris, K. 2004. Managing threatened species: the ecological toolbox, evolutionary theory and declining-population paradigm. *Journal of Applied Ecology* 41: 413–426.
- Probst, J.M. 1996. *La Papangue ou Busard de Maillard, Circus maillardi*. Nature et patrimoine. *Bulletin Phaethon* volume 4, 3ème trimestre, 79-80.
- René de Roland, L.A., Thorstrom, R., Razafimanjato, G., Rakotondratsima, M.P.H., Andriamalala, T.R.A. & T.S. Sam. 2009. Surveys, distribution and current status of the Madagascar Harrier *Circus macroscelus* in Madagascar. *Bird Conservation International* 1-14.
- Rochet, M., Ghestemme, T. & M. Salamolard. 2000. *Étude sur les populations, l'écologie de 9 espèces d'oiseaux indigènes de La Réunion, des menaces qui pèsent sur elles, et des mesures à mettre en place*. Bilan des activités et résultats préliminaires de la période du 22 juin au 22 septembre 2000. SEOR. 16 p.
- Simmons, R.E. 2000. *Harriers of the world: their behaviour and ecology*. Oxford University Press, Oxford.
- Stattersfield, A., & D. Capper. 2000. *Threatened Birds of the World*. Birdlife International, Cambridge, UK.
- Sternalski, A., Blanc, J.F., Augiron, S., Rocheteau, V. & V. Bretagnolle. 2013. Comparative breeding performance of Marsh Harriers *Circus aeroginus* along a gradient of land-use intensification and implications for population management. *Ibis* 155: 55-67.
- Strasberg, D., Rouget, M., Richardson, D.M., Baret, S., Dupont, J. & R.M. Cowling. 2005. An assessment of habitat diversity and transformation on La Réunion Island (Mascarene Islands, Indian Ocean) as a basis for identifying broad-scale conservation priorities. *Biodiversity and Conservation* 14: 3015-3032.
- Textor De Ravisi. 1880. *Études sur les deux plaines des palmistes et des cafres*. Archives de l'Intérieur. Saint-Denis. 106 p.
- Thiollay, J.M. 1993. Habitat segregation and the insular syndrome in two congeneric raptors in New Caledonia, the White-bellied Goshawk, *Accipiter haplochrous*, and the Brown Goshawk, *A. fasciatus*. *Ibis* 135:237-246.
- Vilà, M., Espinar, J.L., Hejda, M. et al. 2011. Ecological impacts of invasive alien plants: a meta analysis of their effects on species, communities and ecosystems. *Ecology Letters* 14, 702–708.

ANNEXES

ANNEXE 1

Protection du Busard de Maillard

- Arrêté du 17 Février 1989 : *fixant des mesures de protection des espèces animales représentées dans le département de la Réunion.*
Article 3 : Sont interdits en tout temps sur tout le territoire du département de la Réunion, la destruction et l'enlèvement des œufs et des nids, la destruction, la mutilation, la capture ou l'enlèvement, la naturalisation des oiseaux d'espèces non domestiques suivantes ou, qu'ils soient vivants ou morts, leur transport, leur colportage, leur utilisation, leur mise en vente, leur vente ou leur achat : 39 espèces dont le Busard de Maillard.
- CITES : *Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction, ou convention de Washington du 3 mars 1973.*
Annexe II et B du Règlement Communautaire CITES.
- Convention de Berne : *relative à la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage.*
Annexe II.

ANNEXE 2

Habitats types de l'île de La Réunion, avant la colonisation et actuels.

Tableau 1 : Description des 19 habitats types identifiés par Strasberg *et al.* 2005. Les aires actuelles des habitats non transformés sont données en hectares (tableau issu de la publication).

Habitat	Description	Present area
<i>Lowland</i>		
Coastal habitats	Herblands and scrublands on rocky cliffs, stony and sandy shoreline	316
Lowland savanna	Dry discontinuous woodland with tall trees and palms (<i>Latania lontaroides</i>) on sandy soils	481
Lowland dry forest	Dry forest with a semi open canopy of sclerophyllous trees	3294
Lowland rainforest	Wet forest with a continuous canopy of tall trees rich in epiphytes	7626
<i>Submountain</i>		
Leeward submountain rainforest	Mixture of dry and wet forest trees in dense stands	4064
Windward submountain rainforest	Very wet dense forest with low-lying trees and shrubs	12127
<i>Pandanus</i> submountain wet thicket	Dense stands of <i>Pandanus montanus</i> mixed with rainforest trees	1815
Submountain mesic forest	Dry mountain forest with small trees and shrubs	3586
<i>Mountain</i>		
Leeward mountain rainforest	Cloud forest with tall trees and dense herbaceous layer	11614
Windward mountain rainforest	Cloud forest with stunted trees and dense epiphytic layer	26949
<i>Acacia</i> mountain forest	<i>Acacia heterophylla</i> mono-dominant forest with bulky trees and light canopy	2736
<i>Pandanus</i> mountain wet thicket	Dense stands of <i>Pandanus montanus</i> growing in marshes	2604
<i>Philippia</i> mountain thicket	Moorland with thick organic topsoil covered by the heath <i>Philippia montana</i>	889
<i>Subalpine</i>		
Subalpine herbland	Mosaic of grasses and sedges on waterlogged or dry high-altitude flat areas	850
Subalpine shrubland	Large tracts of high-altitude continuous heathlands	14744
Subalpine shrubland on lapilli	Dry discontinuous shrubland on recent volcanic deposits	802
Subalpine <i>Sophora</i> thicket	Wet thicket dominated by <i>Sophora denudata</i> trees	211
<i>Azonal</i>		
Lava flows	Recent lava flows	9765
Wetlands	Permanent msarshes or ponds	467

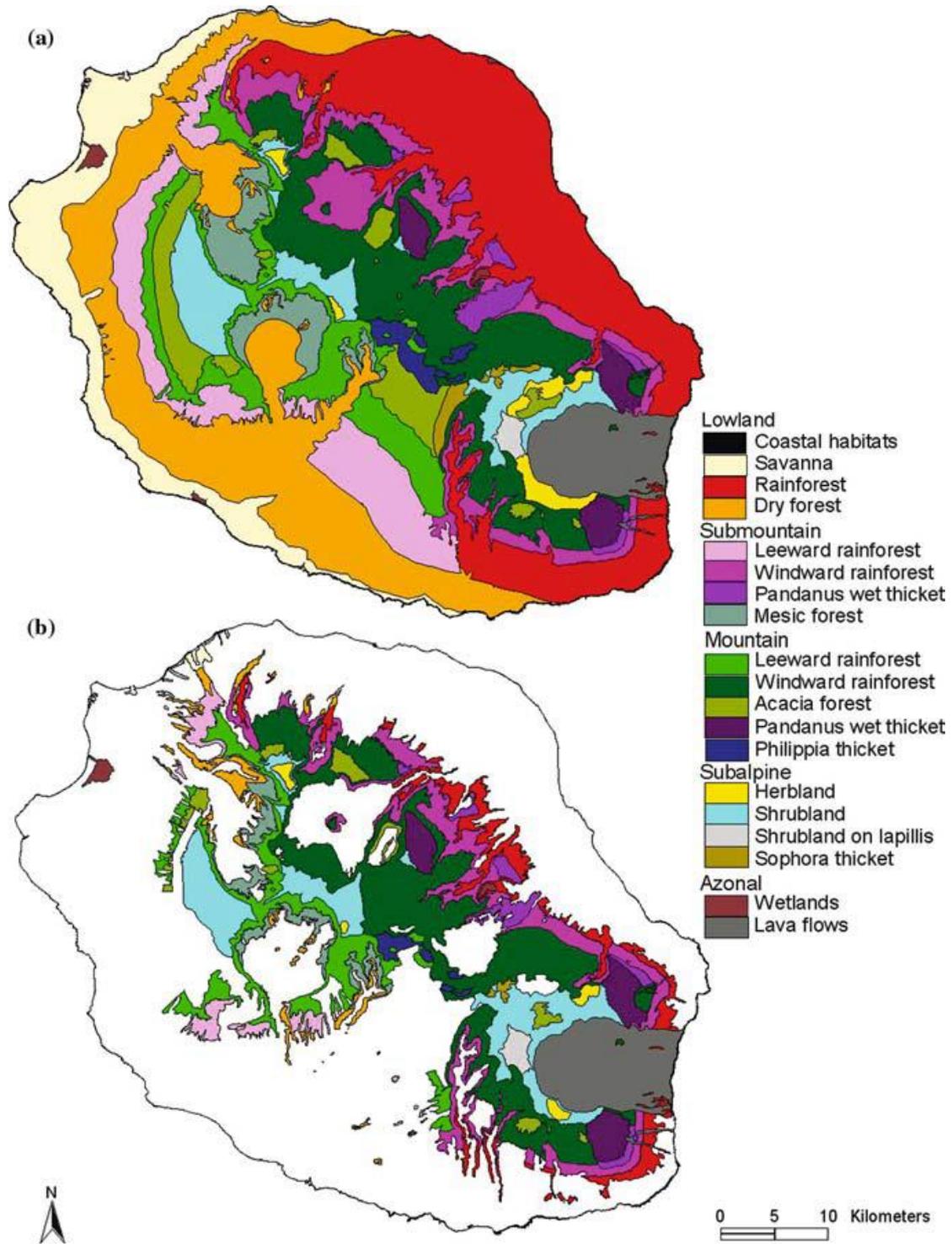
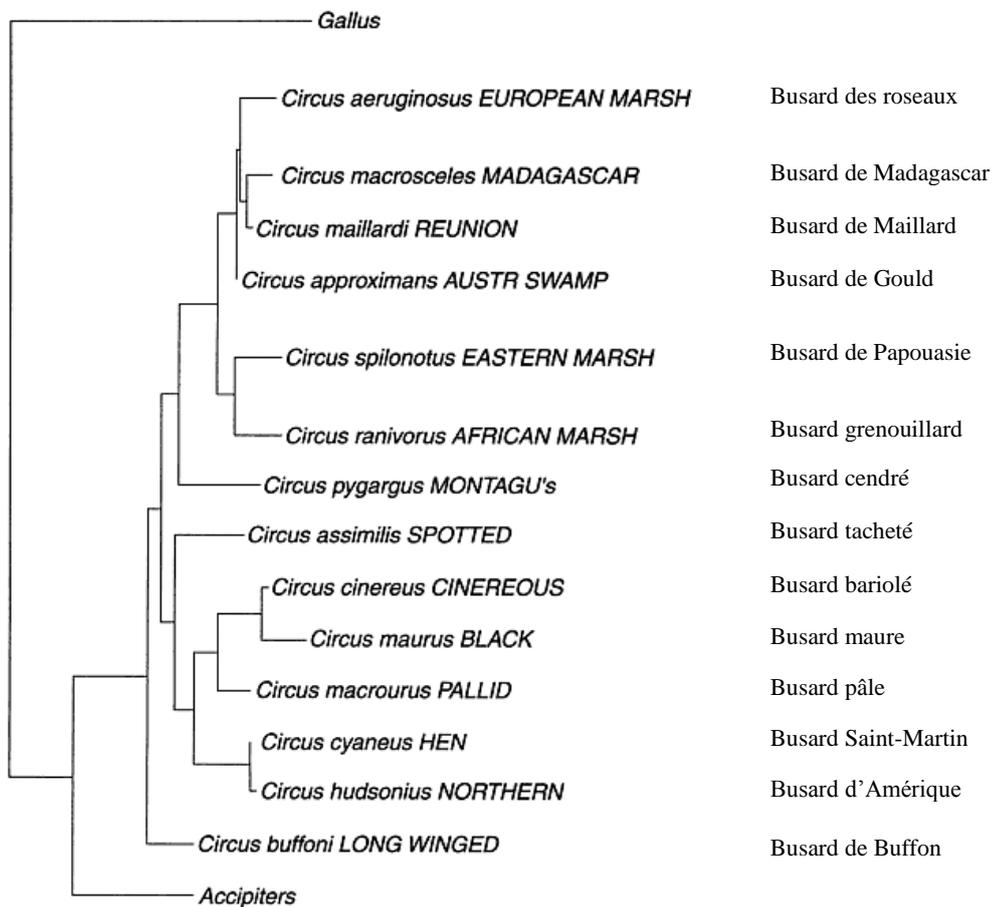


Figure 2: Habitat types de l'île de La Réunion : (a) répartition d'origine; (b) répartition actuelle (en excluant les zones transformées par l'agriculture et l'urbanisation et les zones hautement envahies). Issue de Strasberg *et al.* 2005.

ANNEXE 3

Phylogénie du genre *Circus*.



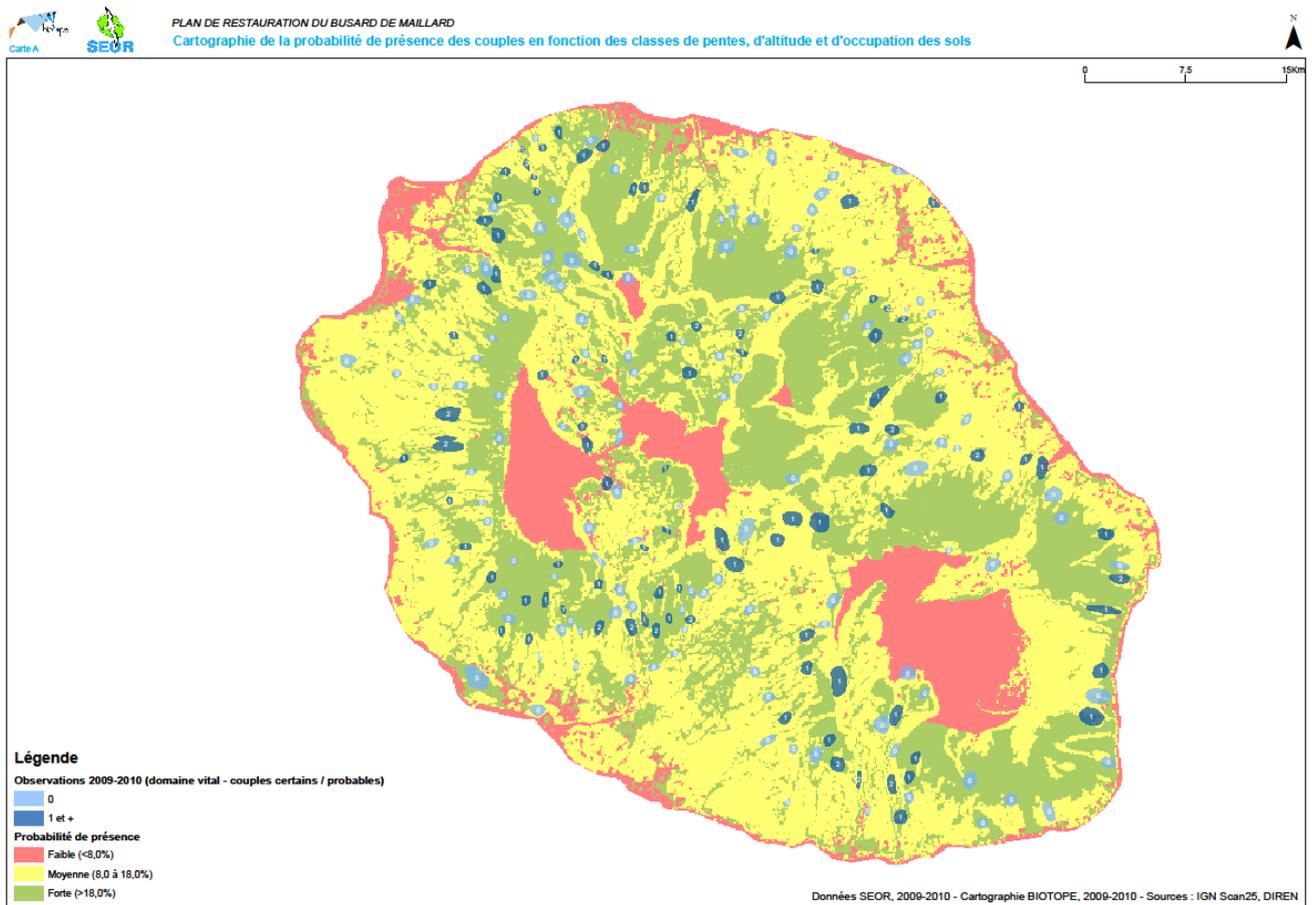
Scale: – = 1% genetic difference

Figure 1 : Extraite de Simmons (2000). Un arbre phylogénétique des busards, arbre le plus parcimonieux obtenu à partir de la méthode d'estimation du maximum de vraisemblance. Les similitudes sont basées sur des analyses de séquences nucléotidiques du gène mitochondrial codant pour le cytochrome b pour 14 busards (matériel génétique non disponible pour *C. spilothorax* et *C. melanoleucos*) en utilisant 1000 paires de bases. Les busards ont divergé du genre *Accipiter* il y a environ 7 millions d'années.

ANNEXE 4

Zone théorique de répartition des couples du Busard de Maillard.

Carte issue de l'atlas cartographique du Plan de Conservation (Grondin & Philippe 2011).



ANNEXE 5

Liste des espèces proies du Busard de Maillard établie par Grondin & Philippe 2011. Les lignes grisées correspondent aux proies les plus souvent consommées.

Classe	Espèces	Nom scientifique	Source	Remarque
Mammifères	Souris domestique	<i>Mus musculus</i>	Clouet 1978	
	Musaraigne musquée	<i>Suncus murinus</i>	Clouet 1978, Rochet et al. 2000	
	Rat noir	<i>Rattus rattus</i>	Clouet 1978	
	Rat Surmulot	<i>Rattus norvegicus</i>	Rochet et al. 2000	
	Tenrec	<i>Tenrec ecaudatus</i>	Clouet 1978	
	Cerf de Java	<i>Cervus timorensis</i>	Observation: M. Bègue à Marla	Cadavre
	Cabri domestique	<i>Capra hircus</i>	Inconnue	Cadavre
	Mouton domestique	<i>Ovis aries</i>	Observation: Randonneur	Mouton à l'agonie
Oiseaux	Tarier de La Réunion	<i>Saxicola tectes</i>	Clouet 1978	
	Oiseau-lunettes gris	<i>Zosterops borbonicus</i>	Probst 1996, Rochet et al. 2000	
	Oiseau-lunettes vert	<i>Zosterops olivaceus</i>	Probst 1996	
	Foudi de Madagascar	<i>Foudia madagascariensis</i>	Clouet 1978	
	Moineau domestique	<i>Passer domesticus</i>	Clouet 1978	
	Astrild Ondulé	<i>Estrilda astrild</i>	Guillot 1984	
	Tisserins	<i>Ploceus cucullatus</i>	Guillot 1984	
	Hémipode de Madagascar	<i>Turnix nigricollis</i>	Clouet 1978	
	Géopélie zébrée	<i>Geopelia striata</i>	Clouet 1978	
	Tourterelle malgache	<i>Nesoenas picturata</i>	Clouet 1978	
	Pigeon domestique	<i>Columba livia</i>	Probst 1996	
	Terpsiphone de Bourbon	<i>Terpsiphone bourbonensis</i>	<i>b.</i> Observation: com. pers.	
	Bulbul de La Réunion	<i>Hypsipetes borbonicus</i>	Clouet 1978	
	Echenilleur de La Réunion	<i>Coracina newtoni</i>	SEOR 2004	Hypothèse

	Martin triste	<i>Acridotheres tristis</i>	Clouet 1978	
	Poule domestique	<i>Gallus gallus domesticus</i>	Dubois 1674	
	Poule d'eau	<i>Gallinula chloropus</i>	Observation: JM. Galmar	Étang de Saint-Paul
	Noddi brun	<i>Anous stodilus</i>	Observation: A. Boyer	Petite Ile
	Pétrel de Barau	<i>Pterodroma barau</i>	Salamolard 2008	Cadavre sur colonie
	Puffin tropical	<i>Puffinus lherminieri</i>	Ghestemme 2000	Cadavre
Batraciens	Crapaud guttural	<i>Amietophrynus gutturalis</i>	Clouet 1978	
	Grenouille mascarine	<i>Ptychadena mascareniensis</i>	Clouet 1978	
Reptiles	Agame arlequin	<i>Calotes versicolor</i>	Clouet 1978, Rochet et al. 2000	
	Couleuvre-loup	<i>Lycodon aulicus</i>	Rochet et al. 2000	
	Caméléon panthère	<i>Furcifer pardalis</i>	Clouet 1978	
	Lézard vert des hauts	<i>Phesulma borbonica</i>	Observation: T. Bègue	Photographie
Poissons	Espèce non identifiée	Espèce non identifiée	Observation: V. Grondin	
Insectes	Libellules, Orthoptères, Coléoptères, Larves	Espèces identifiées non	Clouet 1978, Probst 1996, V. Grondin	Capture sur rives de plan d'eau

ANNEXE 6

Fiche de terrain pour les focales activités et dénombrement des couples reproducteurs.

Date : Observations deh à h (au moins 2 heures)

N° de Point : Commune : Lieu dit :

Noms Observateurs :

Altitude :

GPS : X Y

Météo : Soleil, Nuage, Pluie fine, Pluie forte, Brouillard, Vent faible, Vent fort

Remarques (éléments de dérangements) :

Végétation : Forêt indigène, Indigène dégradée, Savane et Forêt, Pâturage, Tamarinale, Mosaique Forêt-culture, Mosaique végétation exotique, autres (préciser) :

CROQUIS (Emplacement observateurs et des nids) :

Types de Comportements observés : (noter la durée des comportements reproducteurs)

Pp : passage de proie **V** : vol **Attalon** : Attaque avec prise de serres
 (PpV ...en vol, PpT : ...à terre) **So** : Sollicitation
Sv : Survol **Po** : Posé (préciser 'sol', arbuste, arbre,)
Al : Alarme (préciser contre quoi) **Piq** : piqué sur ... (préciser espèce et sexe)
Att : Attaque **Pa** : Parade (préciser : spirales, looping, piqués, ...)
 * : (un comportement) entraîne (un autre comportement) **Ø** : aucun oiseau visible
 (Noter chaque comportement et faire un scanning toutes les 10 minutes)

H	m	Comportements	H	m	Comportements
1			18		
2			19		
3			20		
4			21		
5			22		
6			23		
7			24		
8			25		
9			26		
10			27		
11			28		
12			29		
13			30		
14			31		
15			32		
16			33		
17			34		

	M	F	J	F ou J ou ind.
Nombre minimum d'individu				
Reproduction certaine				
Reproduction probable				
Reproduction possible				
Nombre minimal de couple				

Comportement le plus élaboré	Nombre de fois observée
Nourissage de Jeune volant	
Nourissage au nid	
Apport de matériau	
Nourissage Mâle-Femelle	
Parade de couple (ou par de M avec F à prox)	
Parade de Mâle	
Vol d'un couple avec interactions	
Vol d'accompagnement d'un intrus	
Autres (à préciser)	

ANNEXE 7

Fiches de terrain pour la description des nids de Busard de Maillard et de leur contenu.

FICHE DE NID 'PAPANGUE'		N°																																			
<p>Année : Date de découverte : Lieu-dit : Commune : Qui observe :</p>																																					
<p>Description nid : Position X/Y nid : Hauteur par rapport au sol : Dimensions (longueur, largeur, hauteur) : Type de support, composition : Type de végétation (5-10 mètres autour) : Espèces végétales autour du nid, et pourcentage (0, 25, 50, 75, 100%) : Hauteurs de végétation sur les quatre côtés du nid : Orientation pente et inclinaison :</p>																																					
<p>Visites effectuées au nid :</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Personnes</th> <th>Contenu du nid (ou juvéniles observés extérieur du nid)</th> <th>Adultes présents</th> <th>Comportements des adultes (durée)</th> <th>Travaux effectués</th> <th>Photos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			Date	Personnes	Contenu du nid (ou juvéniles observés extérieur du nid)	Adultes présents	Comportements des adultes (durée)	Travaux effectués	Photos																												
Date	Personnes	Contenu du nid (ou juvéniles observés extérieur du nid)	Adultes présents	Comportements des adultes (durée)	Travaux effectués	Photos																															
<p>Ponte :</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Longueur œuf</th> <th>largeur</th> <th>N° ordre</th> <th>Remarques</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			Date	Longueur œuf	largeur	N° ordre	Remarques																														
Date	Longueur œuf	largeur	N° ordre	Remarques																																	
<p>Description des adultes (Photos des oiseaux): (détails de plumage, présence de mues)</p> <p>Marques alaires :</p>																																					

<u>POUSSINS :</u>	
Date	
N° ordre	
N° bague	
Marque alaire	
Tarse	
Aile Pliée	
Culmen + Cire	
Culmen	
Doigt Interne	
Doigt Médian	
Doigt Externe	
Pouce	
Masse	
Rectrices	
RP6	
Envergure	
Age	
Sexe	
Iris	
Rem plumage	
Fault bars (rectrices)	
Fault bars (autres plumes)	

ANNEXE 8

Tableau 1 : Statuts et contenus des nids de Busard de Maillard trouvés sur la zone d'étude aux différentes dates : découverte, alignement et dernière visite. E : ébauche, EA : ébauche avancée, O(n) : œuf et nombre, P : Poussins(n) : poussins et nombre, V : jeune envolé. Comportement des adultes à l'arrivée sur le nid (abs : absent).

<i>Nid</i>	<i>Découverte</i>	<i>Alignement</i>	<i>Dernière visite</i>	<i>Statut 1</i>	<i>Statut 2</i>	<i>Femelle</i>	<i>Mâle</i>
1	14-mai	14-mai	15-mai	E	E	abs	abs
2	22-mars	13-avr.	26-mai	E	EA	en vol	en vol
3	17-janv.	17-janv.	-	-	-	-	-
4	13-avr.	13-avr.	26-mai	O(2)	O(1)	posée	alarme
5	24-avr.	24-avr.	26-mai	EA	EA	abs	abs
6	22-mars	15-avr.	26-mai	O(3)	P(2)	posée	alarme
7	18-mars	18-mars	26-mai	EA	EA	abs	alarme
8	14-mai	14-mai	26-mai	EA	EA	en vol	en vol
9	24-févr.	24-févr.	26-mai	P (1)	V	alarme	en vol
10	25-avr.	25-avr.	26-mai	EA	EA	en vol	en vol
11	25-avr.	25-avr.	26-mai	E	EA	en vol	en vol

ANNEXE 9



Figure 1 : Photographies d'un même nid (n°2) au stade d'ébauche (a) et d'ébauche avancée (b). Au stade d'ébauche les matériaux sont amassés sans dépression concentrique au centre du nid contrairement au stade avancé (flèche). © Colombe Valette (a), ©Laurent Brillard (b).

ANNEXE 10

Éléments sur le contenu des nids avec œufs/poussins.

Tableau 1 : Dimensions (mm), poids (g) et date d'éclosion présumée des œufs trouvés sur les nids.

Nid	Œuf	Longueur	Largeur	Date 1	Date 2	Poids 1	Poids 2	Éclosion
4	1	48,1	38,3	10-mai	26-mai	29	écrasé	-
4	2	50,4	38,1	10-mai	26-mai	36	33	-
6	1	50,6	38,2	24-avr.	10-mai	40	34	11-19mai
6	2	47	36	24-avr.	10-mai	32	32	11-19mai
6	3	50,2	36	24-avr.	10-mai	38	31	11-19mai



Figure 1 : Photographie du jeune Busard de Maillard du nid n°9 avec marques alaires à symbole unique, le 10 mars 2013. © Laurent Brillard

ANNEXE 11

Résultats statistiques.

Tableau 1 : Synthèse présentant les % d'occupation moyens par habitat à quatre échelles spatiales centrées autour des nids réels et aléatoire. (Échelle 250, 500, 1000 et 2000 mètres) testés avec un test de Kruskal-Wallis.

Habitats (% occupation)	Echelle 250m		Echelle 500m		Echelle 1000m		Echelle 2000m	
	Nid aléatoire	Nid réel	Nid aléatoire	Nid réel	Nid aléatoire	Nid réel	Nid aléatoire	Nid réel
Agricole Diversifié	1	1.9	1	2	1.6	1.8	1.5	1.5
	H = 1.68 ; P = ns		H = 0.08 ; P = ns		H = 0.01 ; P = ns		H = 1.04 ; P = ns	
Écran d'arbres, haies, bosquets	0.1	1.6	0.5	1.6	0.9	1.4	0.6	0.7
	H = 4.48 ; P = 0.03		H = 9.34 ; P = 0.002		H = 5.12 ; P = 0.02		H = 3.5 ; P = 0.06	
Culture de Canne	20.7	12.7	20.6	18.9	21.9	28.6	30.6	38.1
	H = 0.27 ; P = ns		H = 1.65 ; P = ns		H = 2.18 ; P = ns		H = 1.3 ; P = ns	
Foret secondaire	58.3	35.5	54.5	37.1	46.7	36	29.5	30.8
	H = 3.03 ; P = 0.08		H = 3.5 ; P = 0.06		H = 1.32 ; P = ns		H = 0.03 ; P = ns	
Forêt tropicale humide de basse altitude	0.2	0	1.7	0	4.9	0.6	14.5	4.6
	H = 1 ; P = ns		H = 2.09 ; P = ns		H = 1.2 ; P = ns		H = 3.5 ; P = 0.06	
Urbain / péri-urbain	4	3.3	3.8	3.1	4.4	4.2	8.7	8.5
	H = 0.09 ; P = ns		H = 0.24 ; P = ns		H = 0.3 ; P = ns		H = 0.6 ; P = ns	
Friche	15.6	45	17.6	37.2	18.9	27.1	13.3	14.6
	H = 7.42 ; P = 0.01		H = 8.93 ; P = 0.003		H = 6.4 ; P = 0.01		H = 1.3 ; P = ns	
Élevage, prairies	NA	NA	0.2	0.1	0.6	0.3	1.3	1.2
	--		H = 0.51 ; P = ns		H = 0.13 ; P = ns		H = 0.3 ; P = ns	

Tableau 2 : Sommaire de la procédure de sélection de modèle de GLM. (AICc : Akaike Information Criterion corrigé).

Modèle	df	logLik	AICc	Delta	Weight
Date+Heure+Observateur+Periode+Passage	8	-144.10	304.95	0.00	0.84
Date+Heure+Observateur+Periode	7	-146.88	308.34	3.39	0.15
Date+Heure+Observateur+Passage	6	-152.94	318.30	13.36	0.00

RESUME

Le Busard de Maillard, *Circus maillardi*, unique rapace endémique de l'île de La Réunion, est classé « en danger » selon les critères de l'IUCN (depuis 2000) principalement car sa population est estimée très faible (moins de 200 couples). Pour protéger cette espèce peu connue il y a un besoin urgent d'acquérir plus de connaissances sur son écologie. Les objectifs de cette étude étaient d'améliorer les connaissances sur sa sélection de l'habitat de nidification et sa biologie de la reproduction, et de proposer des méthodes de recensement et de suivi adaptées et répliquables.

L'étude s'est effectuée sur une zone de 8km² où nous avons recensé 17 couples certains, dont les nids ont pu être localisés pour 11 d'entre eux. Pour la première fois les nids et la zone de nidification ont pu être décrits, ainsi que la sélection en termes d'habitat à diverses échelles autour des nids grâce à une analyse spatiale. Ainsi, au sein de cette zone d'étude située à l'interface de milieux naturels et anthropisés, le Busard de Maillard niche essentiellement dans des zones de friches à proximité de patchs arborés de taille variable composés de végétation secondaire, attenantes à des champs de canne à sucre et zones habitées. De plus, grâce à une analyse de nombreuses focales d'observation nous avons pu mettre en évidence les paramètres influant sur le nombre d'individus dénombrés (principalement durée, date et heure) et proposer un temps d'observation ajusté pour un recensement représentatif des couples à fine (site) et large échelle (île).

Mots-clés : Conservation, Circus maillardi, Sélection de l'habitat, Eco-éthologie, Échantillonnage.

RESUME

The Reunion Harrier, *Circus maillardi*, is the unique endemic raptor of Reunion Island, located in the South-West Indian Ocean. The IUCN state of the species is "EN" since 2000 because of its extremely small population (less than 200 pairs). There is an urgent need to get more knowledge on this poorly known species ecology to adjust conservatory measures. The aims of this study were to improve knowledge on nesting habitat selection and breeding biology of this harrier, and suggest adapted and replicable methods for identifying and monitoring.

The study was conducted on an 8km² area where we recorded 17 couples, whose nests have been located for 11 of them. For the first time, nests and nesting areas have been described, as well as habitat selection at different scales around nests through a spatial analysis.

Thus, in this study area located at the interface of natural and anthropized environments, the Reunion Harrier nests mainly in areas of abandoned fallow close to forested patches of various sizes composed of secondary vegetation, and adjacent to sugarcane fields and inhabited areas. In addition, through an analysis of numerous focal observations we were able to highlight parameters affecting the number of individuals counted (mainly duration, date and time) and propose an adjusted observing time for a representative survey of pairs at fine (site) and large scale (island).

Key words: Conservation, Circus maillardi, Habitat selection, Eco-ethology, Sampling.