

## Définition d'un référentiel d'activité acoustique des Chiroptères à l'échelle de l'île de la Réunion

Guillaume AMIRAULT, Alexandre HAQUART & Séverine GOERTZ

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION / *PUBLICATION DIRECTOR*: Bruno David,  
Président du Muséum national d'Histoire naturelle

RÉDACTEUR EN CHEF / *EDITOR-IN-CHIEF*: Jean-Philippe Siblet

ASSISTANTE DE RÉDACTION / *ASSISTANT EDITOR*: Sarah Figuet ([naturae@mnhn.fr](mailto:naturae@mnhn.fr))

MISE EN PAGE / *PAGE LAYOUT*: Sarah Figuet

COMITÉ SCIENTIFIQUE / *SCIENTIFIC BOARD*:

Luc Abbadie (UPMC, Paris)  
Luc Barbier (Parc naturel régional des caps et marais d'Opale, Colembert)  
Aurélien Besnard (CEFE, Montpellier)  
Vincent Boulet (Expert indépendant flore/végétation, Frugières-le-Pin)  
Hervé Brustel (École d'ingénieurs de Purpan, Toulouse)  
Patrick De Wever (MNHN, Paris)  
Thierry Dutoit (UMR CNRS IMBE, Avignon)  
Éric Feunteun (MNHN, Dinard)  
Romain Garrouste (MNHN, Paris)  
Grégoire Gautier (DRAAF Occitanie, Toulouse)  
Olivier Gilg (Réserves naturelles de France, Dijon)  
Frédéric Gosselin (Irstea, Nogent-sur-Vernisson)  
Patrick Haffner (PatriNat, Paris)  
Frédéric Hendoux (MNHN, Paris)  
Xavier Houard (OPIE, Guyancourt)  
Isabelle Le Viol (MNHN, Concarneau)  
Francis Meunier (Conservatoire d'espaces naturels – Hauts-de-France, Amiens)  
Serge Muller (MNHN, Paris)  
Francis Oliveau (DREAL Centre, Orléans)  
Laurent Poncet (PatriNat, Paris)  
Nicolas Poulet (OFB, Vincennes)  
Jean-Philippe Siblet (PatriNat, Paris)  
Laurent Tillon (ONF, Paris)  
Julien Touroult (PatriNat, Paris)

COUVERTURE / *COVER*:

Petits molosses (*Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Ratrimomanarico, Probst & Bowie, 2008) s'abreuvant en vol. Crédit photo:  
Cédric Hoarau.

*Naturae* est une revue en flux continu publiée par les Publications scientifiques du Muséum, Paris  
*Naturae* is a fast track journal published by the Museum Science Press, Paris

Les Publications scientifiques du Muséum publient aussi / *The Museum Science Press also publish*:

*Adansonia*, *Zoosystema*, *Anthropozoologica*, *European Journal of Taxonomy*, *Geodiversitas*, *Cryptogamie* sous-sections *Algologie*, *Bryologie*, *Mycologie*,  
*Comptes Rendus Palevol*.

Diffusion – Publications scientifiques Muséum national d'Histoire naturelle  
CP 41 – 57 rue Cuvier F-75231 Paris cedex 05 (France)  
Tél.: 33 (0)1 40 79 48 05 / Fax: 33 (0)1 40 79 38 40  
[diff.pub@mnhn.fr](mailto:diff.pub@mnhn.fr) / <https://sciencepress.mnhn.fr>

© Publications scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 2022  
ISSN (électronique / *electronic*): 1638-9387

# Définition d'un référentiel d'activité acoustique des Chiroptères à l'échelle de l'île de la Réunion

**Guillaume AMIRAULT**

44 boulevard des amoureux, F-97615 Labattoir (Mayotte)  
guillaume.amirault@gmail.com

**Alexandre HAQUART**

42 rue du Cros, F-83570 Correns (France)  
ahaquart@gmail.com

**Séverine GOERTZ**

18 rue Poincaré, F-57640 Vigy (France)  
seve.goertz@wanadoo.fr

Soumis le 25 avril 2020 | Accepté le 6 mai 2022 | Publié le 21 septembre 2022

Amirault G., Haquart A. & Goertz S. 2022. — Définition d'un référentiel d'activité acoustique des Chiroptères à l'échelle de l'île de la Réunion. *Naturae* 2022 (14): 247-260. <https://doi.org/10.5852/naturae2022a14>

## RÉSUMÉ

Le recensement des Chiroptères par enregistrement acoustique est une méthode facile à mettre en œuvre, répandue et maîtrisée. Cette pratique fournit énormément de données mais leur interprétation nécessite un certain recul, des outils d'analyse standard permettant de quantifier l'activité acoustique et des données de référence pour évaluer cette activité. Sur l'île de la Réunion aucune référence n'existait jusqu'à présent pour l'interprétation de ces données. Nous proposons ici une méthode de standardisation des données acoustiques ainsi qu'un référentiel quantifiant objectivement l'activité acoustique des trois espèces de microchiroptères actuellement présentes sur l'île: *Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Ratrimomanarico, Probst & Bowie, 2008, *Taphozous mauritanus* É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818 et *Chiroptera* sp1 (présence observée par l'acoustique mais pas encore confirmée par la capture et la génétique). La finalité est d'objectiver la prise en compte et l'évaluation des enjeux de conservation des chauves-souris dans le cadre d'évaluations environnementales à la Réunion (Mascareignes / Océan Indien). Pour définir ce référentiel d'activité, nous nous sommes appuyés sur des travaux équivalents menés en métropole, en les adaptant au contexte local. Il a été construit grâce à une base de données acoustiques de 215 nuits complètes enregistrées à différentes périodes de l'année entre 2012 et 2018 et couvrant l'intégralité du territoire réunionnais.

**MOTS CLÉS**  
Chauves-souris,  
base de données  
acoustiques,  
évaluation  
environnementale.

## ABSTRACT

*Definition of a reference scale of bat acoustic activity for Reunion island.*

Acoustic recordings are an easy and popular method for bat monitoring. This method provides a lot of data but their interpretation needs the benefit of hindsight, standardized analyses tools allowing to quantify acoustic activity and reference data to evaluate this activity. On Reunion island, no reference exists until now to interpret this data. In this paper we propose a complementary method of standardization for acoustic data as well as a reference scale for activity levels for the three insectivorous bats that live today on Reunion island: *Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Ratrimomanarico, Probst & Bowie, 2008, *Taphozous mauritanus* É. Geoffroy

**KEY WORDS**  
*Chiroptera*,  
acoustic database,  
environmental  
assessment.

Saint-Hilaire, 1818 and *Chiroptera* sp1 (a species of whom presence is noticed by acoustic recordings but not yet confirmed by capture or genetics). The aim is the objective consideration of these bat species in environmental assessments in Reunion island (Mascarenes Islands / Indian Ocean). To establish this reference scale of activity, we relied on a similar work conducted in France mainland and adapted it to the local context. The reference scale was built based on an acoustic database of 215 complete nights recorded between 2012 and 2018 at different times of the year and covering the entire territory of Reunion island.

## CONTEXTE ET OBJECTIF

L'île de la Réunion abrite aujourd'hui trois espèces de Chauves-souris décrites : une Roussette frugivore, la Roussette noire (*Pteropus niger* Kerr, 1792) qui n'émet pas d'ultrasons, et deux espèces de microchiroptères insectivores qui émettent des ultrasons, le Petit Molosse (*Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Rattrimomanarico, Probst & Bowie, 2008 ; Fig. 1) et le Taphien de Maurice (*Taphozous mauritanus* É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818 ; Fig. 2).

Toutes les Chauves-souris de la Réunion subissent des menaces en lien avec l'activité humaine : perte de leurs habitats, pollution lumineuse, dérangement, etc. La Roussette noire, dont les populations sont encore très faibles, est l'espèce la plus menacée et la plus sensible à tout dérangement. Les populations de Petit Molosse et de Taphien de Maurice, bien que non précisément connues, semblent conséquentes et non menacées. Elles subissent néanmoins de plus en plus de menaces, elles aussi (Barataud & Gosia 2009).

De manière générale, les connaissances sur les Chiroptères de l'île sont encore lacunaires et doivent donc être améliorées pour une meilleure prise en compte des espèces dans les études d'aménagement et les programmes de conservation.

Le recensement des Chiroptères par des enregistrements acoustiques autonomes est une méthode très répandue, car elle fournit énormément d'informations concernant les différentes espèces présentes sur un territoire et sur leur biologie (O'Farrell & Gannon 1999 ; Murray *et al.* 1999). Cette méthode permet de mettre en évidence des différences d'activité aussi bien dans l'espace que dans le temps (Hayes 1997 ; Gannon *et al.* 2003 ; Scanlon & Petit 2008 ; Kunz & Parsons 2009). De plus, elle a l'avantage d'être non invasive et facile à mettre en œuvre d'un point de vue logistique. C'est donc la méthode d'étude idéale pour les différents acteurs de l'écologie, qu'il s'agisse de scientifiques ou de bureaux d'étude. Néanmoins si cette méthode répond à plusieurs attentes des études réglementaires (identification des espèces, évaluations de l'écologie sur site : chasse, écholocation, etc.), elle ne permet pas d'évaluer un effectif et encore moins de quantifier une activité. Ce manque entraîne une difficulté à estimer objectivement les enjeux écologiques significatifs de ces espèces. En effet, dans un contexte réglementaire (étude d'impacts sur l'environnement en particulier), la définition d'un enjeu associé à une espèce et à son utilisation du site (reproduction, chasse,

transit, etc.) est attendue. La capacité à évaluer l'activité des Chauves-souris sur un site offre une objectivation sans précédent de leur occupation de l'espace.

Dans ce contexte, des méthodes innovantes ont été développées pour l'étude et le suivi des émissions acoustiques et ultrasonores. Depuis 2013, l'outil ACTICHIRO (Haquart 2013, 2015) propose une méthode de standardisation des données acoustiques des Chiroptères et un référentiel fournissant des indices pour l'évaluation de l'activité acoustique des espèces. Depuis sa création l'outil est devenu incontournable dans le cadre des évaluations environnementales car il permet d'émettre des diagnostics objectifs. Le Muséum national d'Histoire naturelle a notamment repris la méthode d'élaboration de ce référentiel pour construire un référentiel adapté à son propre jeu de données (<https://croemer3.wixsite.com/teamchiro/reference-scales-of-activity?lang=fr>, dernière consultation le 15 février 2020).

Le présent travail vise ainsi à combler un manque d'outil et donc à définir un référentiel objectif d'activité acoustique des microchiroptères qui soit fonctionnel à l'échelle de l'île de la Réunion, et qui permette à toute structure d'évaluer la nature de la présence de l'espèce sur le site, allant d'une présence qualifiée d'anecdotique à une présence exceptionnellement forte ou très forte.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

La présente analyse porte sur l'ensemble du territoire réunionnais. Ce territoire au cœur de l'océan Indien offre une diversité exceptionnelle de milieux sur une très faible surface allant par exemple de savanes littorales, jusqu'à des habitats éricoïdaux (se dit d'un habitat majoritairement composé de bruyères, en référence au nom de genre *Erica* du Branle vert – *Erica reunionensis* E.G.H. Oliv, espèce endémique de la Réunion) à plus de 2500 m d'altitude, en passant par des falaises littorales uniques, des forêts diverses et variées (forêt semi-sèche, forêt humide sous le vent, etc.). Cette diversité est d'autant plus marquée que les paysages associés sont également extrêmement variés et fortement influencés par un relief marqué partout sur l'île. Ce contexte est unique au monde et reconnu au travers d'un classement au patrimoine mondial de l'UNESCO au titre de la biodiversité et des paysages uniques constituant la Valeur unique exceptionnelle des pitons, cirques et remparts de l'île de la Réunion.



FIG. 1. — Petit Molosse (*Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Ratrimomanarico, Probst & Bowie, 2008). Crédit photo : Cédric Hoarau.



FIG. 2. — Taphien de Maurice (*Taphozous mauritanus* É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818). Crédit photo : Cédric Hoarau.

TABLEAU 1. — Bilan des données disponibles et analysées.

| Contexte                                          | Points | Nuits |
|---------------------------------------------------|--------|-------|
| Jeu de données total                              | 179    | 215   |
| Nuits partielle                                   | 11     | 12    |
| Données hors biotope de chasse ou non renseignées | 19     | 19    |
| Total des données exploitables                    | 155    | 189   |

TABLEAU 2. — Répartition des nuits d'enregistrements par classe d'altitude.

| Classe d'altitude | Nombre de nuits d'enregistrement |
|-------------------|----------------------------------|
| 0-100m            | 97                               |
| 101-500 m         | 80                               |
| 501-1000 m        | 15                               |
| 1001-2000 m       | 21                               |
| 2001-3000 m       | 2                                |
| TOTAL             | 215                              |

#### COLLECTE DES DONNÉES, ÉCHANTILLONNAGE

La base de données utilisée dans le cadre de cette étude de l'activité acoustique des microchiroptères de la Réunion totalise 215 nuits complètes d'enregistrements réparties sur 179 points d'échantillonnages (sites de pose des enregistreurs) (Tableau 1).

Pour les besoins du référentiel les nuits partielles d'enregistrement ont été écartées du jeu de données (problèmes d'arrêts des enregistrements liés à la charge des batteries notamment). Nous avons également écarté les points d'enregistrements réalisés en « sortie de gîte » qui sont jugés atypiques par rapport à ceux réalisés sur un « biotope de chasse ».

L'ensemble des données a été collecté par sept experts internes (Annexe 1) dans le cadre des activités du bureau d'études Biotope et analysé par un seul et même expert. Les données ne pouvant être attribuées avec certitude à une espèce ou un genre ont été considérées comme *Chiroptera* sp. L'échantillonnage aussi bien temporel que géographique a été dépendant des expertises environnementales réalisées.

Si le jeu de données couvre toute l'île de la Réunion et la plupart des milieux, les points d'enregistrements sont majoritairement répartis dans les bas de l'île (cœurs de villes, secteurs urbanisés moins denses, ouvrages d'art etc.), avec plus de 80 % des données entre 0 et 500 m d'altitude et 45 % en dessous de 100 m (Tableau 2). Exceptions faites de quelques habitats (savanes, relique de forêt sèche ou encore zone humide), les bas de l'île sont quasi exclusivement occupés par des habitats anthropiques ou secondarisés dominés par une flore souvent exotique voire envahissante. Les habitats plus naturels se rencontrent dans les hauts de l'île moins accessibles et souvent mieux préservés.

L'ensemble des secteurs de l'île est couvert, depuis le littoral jusqu'à plus de 2000 m d'altitude, dans les pentes, les cirques et les plaines (Fig. 3).

Les données utilisées s'échelonnent entre 2012 et 2018 (aucune donnée en 2013), avec au moins une nuit complète d'enregistrement par mois (Fig. 4)

La grande majorité des nuits d'enregistrement se situe entre novembre et mars (154 nuits complètes), ce qui correspond à la période de plus forte activité des Chiroptères (regroupement en colonie, reproduction, gestation, mise bas et élevage des jeunes) d'après Augros *et al.* (2015 ; Fig. 5)

À l'inverse, seuls 36 enregistrements de nuits complètes sont disponibles à la période où les individus sont en déplacements/dispersions vers les gîtes d'été, plus ou moins erratiques, et où les colonies de reproduction sont vides (juin à septembre).

#### SUIVI DE L'ACTIVITÉ ET IDENTIFICATION DES ESPÈCES

Nous avons utilisé des enregistreurs passifs d'ultrasons : SM2BAT et SM4BAT (Wildlife Acoustics, États-Unis) équipés de microphones omnidirectionnels (SMX-UT, SMM U1, Wildlife acoustics, États-Unis). Le protocole de collecte, identique à chaque session d'enregistrement, se décompose comme suit :

- démarrage des enregistrements 30 minutes avant le coucher du soleil ;
- déclenchement de l'enregistrement lorsque le niveau sonore dépasse de 6dB le bruit de fond ;
- enregistrement de séquences de cinq secondes (fichiers informatiques au format \*.wav) ;
- fin des enregistrements 30 minutes après le lever du soleil.

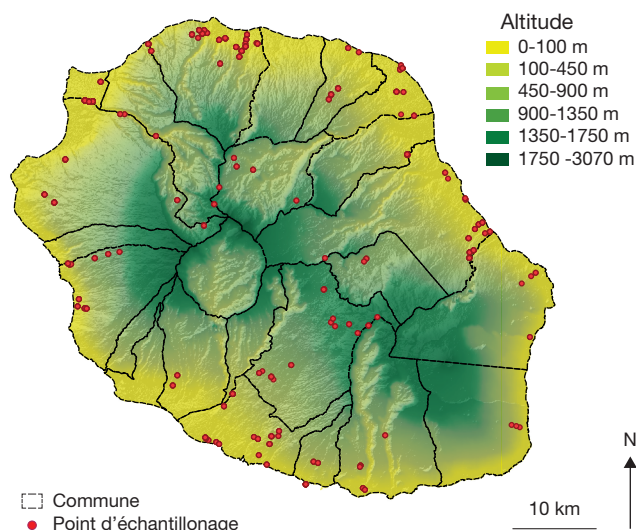


FIG. 3. — Localisation des points d'enregistrements de la présente étude. Source: GEOFLAIGN (2020), NASA SRTM (2020).

#### MÉTHODES D'ANALYSE

Les enregistrements collectés sur le terrain sont analysés par ordinateur grâce au logiciel Sonochiro® (©Biotopie, France).

Sonochiro® inclut une chaîne de traitement de l'information avec :

- un algorithme de détection et de délimitation des signaux acoustiques ;
- des relevés automatiques de mesures à partir desquels sont calculés des paramètres discriminants ;
- une banque de données de mesures de 1000 cris de référence par espèce et de bruits « parasites » (orthoptères, rats, oiseaux, bruits électroniques, etc.) ;
- une classification des cris basée sur la méthode des forêts d'arbres décisionnels (« Random Forest ») (Breiman 2001 ; Armitage & Ober 2010) ;
- un algorithme détectant la présence simultanée de plusieurs espèces ;
- un algorithme de calcul d'indice de confiance qui fournit pour chaque séquence de cinq secondes et pour chaque espèce un chiffre compris entre 0 (forte probabilité que l'espèce prédite ne soit pas correctement identifiée) et 10 (forte probabilité que l'espèce prédite soit correctement identifiée).

Cette chaîne de traitement permet un tri et une identification automatique des séquences d'enregistrements de cinq secondes (fichiers informatiques au format \*.wav) .

Les identifications sont ensuite contrôlées « manuellement » par visualisation des sonogrammes (logiciels Batsound, Pettersson Elektronik, Suède) et selon les critères de Barataud & Gosia (2013) et de Barataud *et al.* (2014). Une attention particulière a été portée sur la validation des *Chiroptera* sp1, toutes les séquences de cette espèce ont été contrôlées et répondent aux critères (Barataud & Gosia 2013).

Le nombre de séquences d'enregistrements de cinq secondes étant très important (plus de 220 000) les contrôles sont limités

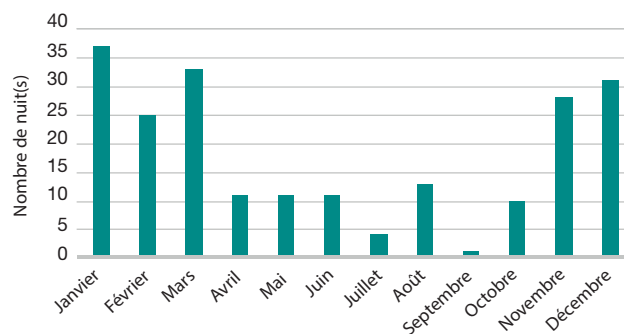


FIG. 4. — Répartition calendaire des nuits d'enregistrement

par un échantillonnage aléatoire stratifié. Pour chaque nuit nous avons vérifié la présence de chaque espèce prédite en vérifiant les indices de confiance des plus forts vers les plus faibles et en nous arrêtant à l'indice où les erreurs deviennent supérieures à 50 % (Barré *et al.* 2019 ; Tableau 3).

#### MÉTRIQUE DE DESCRIPTION DE L'ACTIVITÉ

Afin de fournir un référentiel d'activité objectif et de couvrir un large panel de méthodologies, nous présentons les résultats avec quatre unités de dénombrement différentes : le nombre de nuits où l'espèce est présente, le nombre de minutes positives, le nombre de fichiers d'enregistrements de cinq secondes et le nombre de cris. Chacune de ces méthodes de dénombrement ayant ses avantages et ses inconvénients, leur utilisation est généralement dépendante de contraintes contextuelles aux études (type de matériels, de logiciels utilisés et temps alloué au travail).

##### *Le nombre de nuits où l'espèce est présente*

Sur l'exemple du modèle de présence/absence (Mackenzie *et al.* 2002), on compte le nombre de nuits pendant lesquelles l'espèce a été détectée. Du point de vue statistique cette unité d'activité est la plus robuste pour toutes les espèces car les inventaires ponctuels fournissent systématiquement *a minima* une liste d'espèces (présence/absence par point) qui peut être prise en compte même si les comptages précis de temps d'activité nocturne n'ont pas été réalisés.

##### *Le nombre de « minutes positives »*

Par extension, le temps de présence par nuit correspond à l'indice d'activité standardisé proposé par Miller (2001). Cette unité est basée sur la présence/absence des espèces au cours d'un intervalle de temps d'une minute. On séquence donc le temps d'écoute en sessions d'une minute et qu'il y ait un contact ou dix contacts de l'espèce au cours de cette minute, l'incréméntation du comptage est de 1. Ce dénombrement permet ainsi de mesurer la régularité de présence d'une espèce sur un site.

Cette unité présente plusieurs avantages :

- elle a un « effet tampon » face à des unités très sensibles tel que le nombre de cris par exemple. Ces unités font ressortir des variations « abiotiques » c'est à dire des variations induites par l'environnement et le matériel d'enregistrement, ce qui

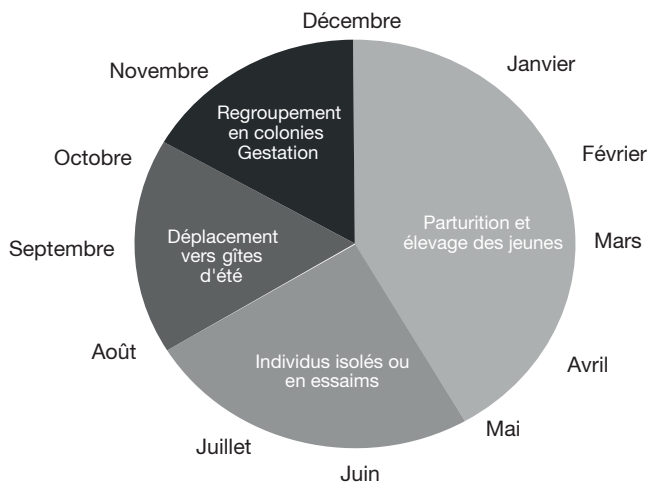


FIG. 5. — Cycle phénologique pour *Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Ratrimomanarico, Probst & Bowie, 2008 d'après Augros et al. (2015).

peut compliquer l'interprétation de l'activité biologique réelle des Chiroptères ;

- elle traduit une réalité biologique et, quelle que soit la durée de la nuit, on obtient une durée d'activité par nuit ;
- elle permet d'homogénéiser des données d'origines différentes pour les assembler. Certains paramétrages fournissent en effet des fichiers de taille très variable (1 à 30 secondes en fonction du trigger).

#### Le nombre de fichiers d'enregistrements de cinq secondes

La présence de l'espèce dans une séquence acoustique de cinq secondes est une unité de comptage utilisée dans de nombreuses études. Un contact (assimilé donc au nombre de fichiers) correspond ici à la durée moyenne du passage d'une Chauve-souris (Barataud 1996). Le comptage par tranches de cinq secondes est notamment pratiqué dans le cadre des comptages « manuels » (écoute active), il permet de disposer rapidement de variables d'activités sur de courtes périodes d'échantillonnages. En outre les fichiers de cinq secondes d'enregistrement correspondent au standard des logiciels de reconnaissance automatique développés en France (Bas et al. 2017).

#### Le nombre de cris

Cette donnée est obtenue grâce à l'utilisation couplée d'enregistreurs automatiques et d'un logiciel de prétraitement tel que SonoChiro®. Cette unité présente l'avantage d'avoir une grande sensibilité et de mettre potentiellement en exergue la présence de plusieurs individus à un instant t. Cependant, cette forte sensibilité induit des variations liées notamment au paramétrage des enregistreurs et à l'usure des micros.

#### CONSTRUCTION DU RÉFÉRENTIEL ET SON INTERPRÉTATION

Notre référentiel s'appuie sur une série d'indices. Un indice est un nombre exprimant un rapport entre deux grandeurs.

Outre les différentes unités de comptage présentées dans les abaques, sept indices vont être détaillés : la moyenne

TABLEAU 3. — Répartition des vrais et des faux positifs en fonction des espèces (Petit Molosse *Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Ratrimomanarico, Probst & Bowie, 2008, Taphien de Maurice *Taphozous mauritanus* É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818 et *Chiroptera* sp1) et des indices de confiance observés sur le classificateur « REtest2 » exploité pour cette étude. La couleur verte indique 100 % d'identifications correctes, la couleur orange 50 à 100 % d'identifications correctes et la couleur rouge 0 à 50 %.

| Espèce                | Indice de confiance |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|-----------------------|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                       | 0                   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Petit Molosse         |                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Taphien               |                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| de Maurice            |                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Chiroptera</i> sp1 |                     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

d'activité, l'occurrence par nuit, la moyenne si l'espèce est présente et quatre quantiles. Ces indices sont les mêmes que ceux proposés en France métropolitaine par Haquart (2013, 2015).

#### La moyenne d'activité ou « activité globale » (ActG)

Il s'agit de la somme des valeurs des comptages, divisée par le nombre total de nuits sur l'ensemble du jeu de données. Elle a pour principal avantage d'être une valeur facile à calculer. Néanmoins, la moyenne arithmétique est une méthode qui semble inappropriée pour des espèces à répartitions locales puisqu'elle ne prend pas en considération les aires de répartition spécifiques. L'absence de contact d'une espèce sur un point peut traduire une réelle absence de l'espèce sur le territoire mais également une très faible activité ou encore une mauvaise détectabilité. Pour pallier cela, sur l'exemple du modèle de présence/absence proposé par Mackenzie et al. (2002) nous avons décomposé la « moyenne d'activité » en deux indices : « l'occurrence par nuit » (OccN) et « l'activité si présence » (ActP).

$$\text{ActG} = \text{OccN} * \text{ActP}$$

#### L'occurrence par nuit

Cela correspond au rapport du nombre de nuits durant lesquelles l'espèce a été contactée (n) sur le nombre de nuits échantillonnées (ici N = 215), exprimé en pourcentage. Il s'agit donc d'un indicateur du niveau de rareté de l'espèce, de la fréquence de contact dans l'espace (probabilité de contacter une espèce sur un point d'enregistrement au cours d'une nuit).

#### La moyenne d'activité de l'espèce

Elle correspond, lorsqu'elle est présente, au nombre total des comptages divisé par le nombre de nuits où l'espèce a été contactée au moins une fois sur le point d'enregistrement (n). L'activité si l'espèce est présente renseigne sur le niveau d'activité de l'espèce sans la notion de rareté, donc sur l'activité propre à l'espèce sur les territoires qu'elle occupe.

La distribution des valeurs d'activité n'est statistiquement pas « normale », comme cela s'observe fréquemment en écologie (O'Hara & Kotze 2010), elle suit plus souvent une distribution de Poisson. On remarque un grand nombre de faibles valeurs d'activité pour un petit nombre de fortes valeurs. Les valeurs extrêmes se trouvent donc « écrasées » lorsque l'on

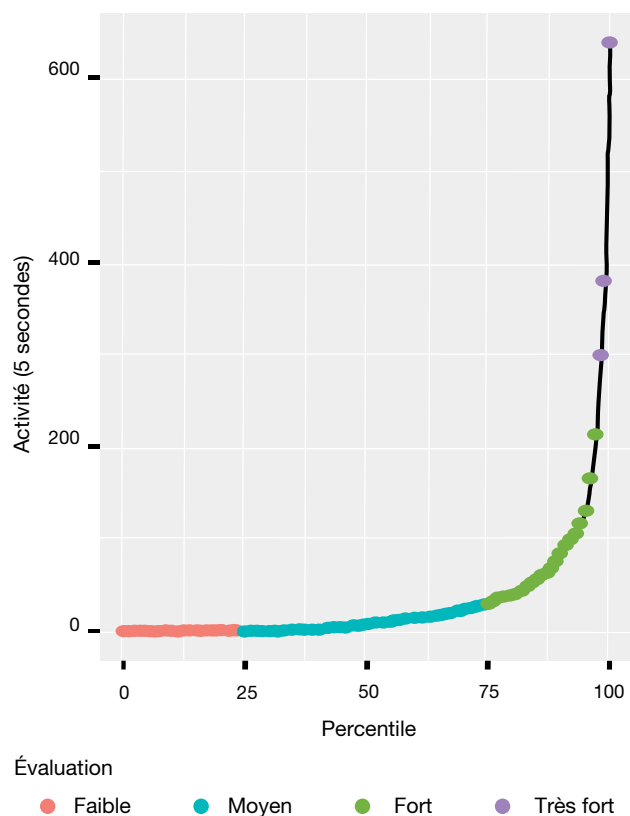


Fig. 6. — Exemple de répartition de l'activité par percentile.

calcule la moyenne d'activité sur un grand nombre de nuits d'enregistrement, ce qui en fait des données parfois complexes à interpréter. La façon la plus objective est de disposer d'une échelle de références à laquelle se comparer. Pour faciliter cette confrontation nous utilisons les quantiles.

#### Les quantiles

Ils permettent d'observer la distribution des valeurs d'activité de manière plus fine qu'une simple moyenne (Adams *et al.* 2015), ils divisent un jeu de données continues en intervalles contenant le même nombre de données. On travaillera ici en percentiles, variables qui divisent le jeu de données en cent groupes égaux. Pour mémoire la médiane d'un jeu de données correspond au quantile à 50 %, c'est-à-dire à la valeur correspondante à 50 % des données lorsque celles-ci sont classées en ordre croissant.

## RÉSULTATS

La répartition des données est présentée sous forme de graphique pour chaque espèce et pour chaque unité (Fig. 6). Cela permet d'évaluer le niveau d'activité au cours d'une nuit de façon objective (Lintott *et al.* 2017).

Pour interpréter une donnée locale, il suffit donc de reporter la valeur à évaluer pour savoir à quel percentile elle correspond. Si la valeur à évaluer correspond par exemple au percentile

80, on peut affirmer que cette activité est supérieure à 80 % des cas de référence.

Cette évaluation continue n'est cependant pas suffisante pour répondre aux attentes des autorités environnementales pour la définition d'enjeux (faible/moyen/fort/très fort). Des valeurs seuils ont donc été fixées avec les quantiles de référence suivants (Haquart 2013) :

- activité faible si inférieure à la valeur du quantile à 25 % (Q25) ;
- activité moyenne si comprise entre 25 et 75 % (c'est donc le cas une fois sur deux) (Q25 et Q75) ;
- activité forte si comprise entre les quantiles 75 et 98 % (Q75 et Q98) ;
- activité très forte au-delà de 98 % (Q98).

Pour finir nous avons également réalisé des graphiques d'activité horaire en calculant la moyenne d'activité par heure et par espèce. Pour le Petit Molosse les données étaient suffisantes pour distinguer l'activité horaire estivale de l'activité horaire hivernale. Les données sont insuffisantes pour les deux autres espèces en hiver.

La distribution des valeurs de quantiles est présentée dans la Figure 7 sous la forme de graphiques par espèce et par unité de comptage.

Le Tableau 4 synthétise les données disponibles pour chacune des espèces étudiées et les résultats détaillés.

#### RÉPARTITION TEMPORELLE DE L'ACTIVITÉ

La Figure 8, présentée en nombre de minutes positives par heure, permet notamment d'apprécier l'activité moyenne par espèce et par saison sur le cycle d'une nuit complète d'écoute passive.

#### RÉPARTITION DE L'ACTIVITÉ SELON LES GRANDS HABITATS

La Figure 9 et le Tableau 5 permettent d'apprécier le niveau d'activité par grand type de milieu d'après la typologie Corine Land Cover 2020. On peut ainsi apprécier la variabilité en minute positive par nuit selon chaque milieu et chaque espèce.

## DISCUSSION

Le but de cette étude est d'évaluer objectivement les niveaux d'activité des espèces de Chauve-souris de la Réunion. La confrontation de données à interpréter avec ces graphiques permet d'avoir une évaluation immédiate et objective de l'activité sur le site étudié (Tableau 4). Cette confrontation n'est valable que si les données collectées sur le terrain le sont selon un protocole identique à celui des données utilisées pour définir le référentiel d'activité (voir la partie « Suivi de l'activité et identification des espèces »).

Précisons toutefois que la définition d'un niveau d'activité par les quantiles n'est en aucun cas un niveau d'enjeu pour une espèce par analogie (une activité faible ne définit pas nécessairement un enjeu faible) et encore moins pour un habitat associé. Ce niveau d'activité doit néanmoins permettre de mieux caractériser l'utilisation du site par une

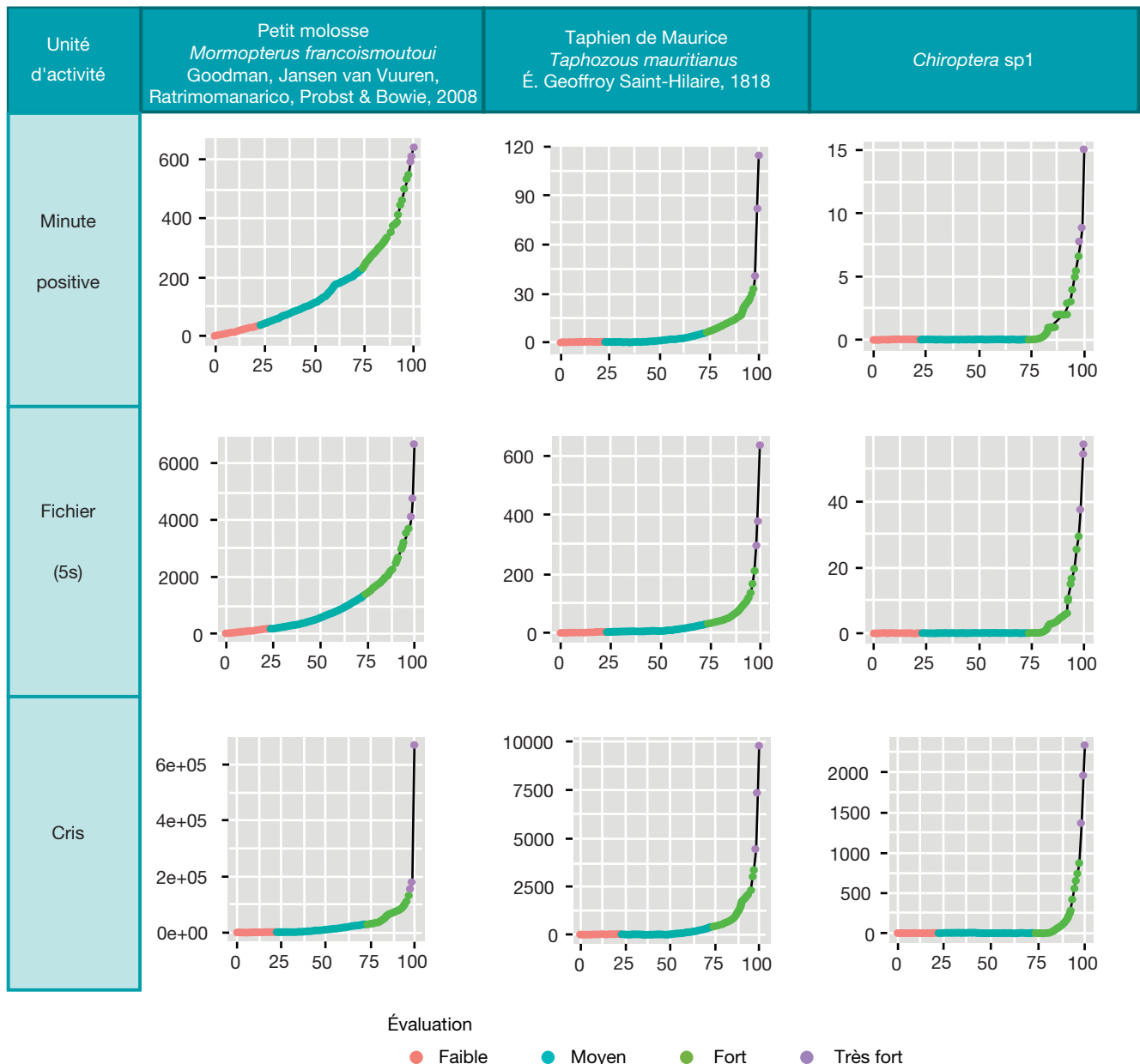


Fig. 7. — Synthèse des niveaux d'activité par espèce et unité d'activité. En abscisse les quantiles et en ordonnée les niveaux d'activité.

espèce et de faciliter l'objectivation d'une définition d'un enjeu. L'analyse d'un chiroptérologue reste indispensable pour évaluer finement cet enjeu sur la base d'une expertise de terrain complète et dédiée (utilisation du site [repos, chasse, transit], définition des corridors écologiques, évaluation des habitats, etc.).

Nous avons vu les valeurs seuils à partir desquelles sont définis les différents niveaux d'activité (Tableau 4 ; Annexe 2). Ces résultats font émerger plusieurs réflexions et perspectives.

Tout d'abord, il faut souligner que les données ont été collectées sur la période 2012-2018. Nos résultats sont donc une sorte de photographie du paysage sonore sur cette période. Ce paysage est amené à changer en fonction de l'évolution des populations. La mise en place d'un programme de suivi

par l'acoustique avec un protocole reproductible apporterait des informations importantes sur l'évolution des populations de Chiroptères à long terme.

Ensuite nous avons vu que notre échantillonnage est centré sur l'été austral au détriment de l'hiver austral. Les nouvelles technologies permettent aujourd'hui de réaliser des écoutes permanentes sur un cycle annuel complet. Un tel protocole appliqué dans plusieurs localités de l'île apporterait des éléments importants sur la biologie des espèces et leur mode d'occupation du territoire.

Les graphiques d'activité par habitat montrent une activité importante des trois espèces sur des milieux fortement anthropisés que sont les territoires artificialisés et les territoires agricoles (ce sont en effet des milieux quasiment omniprésents dans les

TABLEAU 4. — Niveaux d'activités par espèce et valeurs seuils des quantiles en minutes positives. Abréviations : **E-typ ActG**, écart-type de la moyenne d'activité générale ; **E-typ ActP**, écart-type de la moyenne d'activité si présence ; **Max**, Maximum ; **N**, total des nuits exploitables ; **n**, nuit avec présence ; **Occ.**, occurrence ; **Q25**, valeurs des quantiles à 25 % ; **Q75**, valeurs des quantiles à 75 % ; **Q98**, valeurs des quantiles à 98 %.

|                                                         | Activité générale                                                 |     |       |         |         |     |       |          |        |         | Activité si présence |       |       |          |        |  |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----|-------|---------|---------|-----|-------|----------|--------|---------|----------------------|-------|-------|----------|--------|--|
|                                                         | N                                                                 | n   | Occ.  | ActG    | E-typ   |     |       |          | Max    | ActP    | E-typ                |       |       |          | Max    |  |
|                                                         |                                                                   |     |       |         | ActG    | Q25 | Q75   | Q98      |        |         | ActP                 | Q25P  | Q75P  | Q98P     |        |  |
| <b>Petit molosse</b> <i>Mormopterus francoismoutoui</i> | Goodman, Jansen van Vuuren, Ratrimomanarico, Probst & Bowie, 2008 |     |       |         |         |     |       |          |        |         |                      |       |       |          |        |  |
| Cris                                                    | 189                                                               | 189 | 100 % | 18259,4 | 48791,8 | 965 | 12503 | 151764,8 | 468984 | 18259,4 | 48791,8              | 964,5 | 12503 | 151764,8 | 468984 |  |
| Minutes                                                 | 189                                                               | 189 | 100 % | 163,2   | 150,4   | 43  | 243   | 596,2    | 640    | 163,2   | 150,4                | 43    | 243   | 596,2    | 640    |  |
| Fichiers 5 s                                            | 189                                                               | 189 | 100 % | 671,7   | 983,3   | 92  | 745   | 4118,4   | 5164   | 671,7   | 983,3                | 92    | 745   | 4118,4   | 5164   |  |
| <b>Taphien de Maurice</b> <i>Taphozous mauritanus</i>   | É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818                                   |     |       |         |         |     |       |          |        |         |                      |       |       |          |        |  |
| Cris                                                    | 189                                                               | 132 | 68 %  | 179,9   | 1456,4  | 0   | 54    | 682,4    | 18895  | 268,2   | 1774,5               | 11,8  | 87,3  | 937,5    | 18895  |  |
| Minutes                                                 | 189                                                               | 132 | 68 %  | 8,7     | 19      | 0   | 9     | 82,1     | 128    | 12,4    | 21,8                 | 2     | 14    | 112,5    | 128    |  |
| Fichiers 5 s                                            | 189                                                               | 132 | 68 %  | 15      | 48,9    | 0   | 12    | 149,5    | 456    | 21,5    | 57,4                 | 3     | 18,3  | 192,4    | 456    |  |
| <i>Chiroptera</i> sp1                                   |                                                                   |     |       |         |         |     |       |          |        |         |                      |       |       |          |        |  |
| Cris                                                    | 189                                                               | 110 | 58 %  | 137,8   | 672,4   | 0   | 52    | 1077,2   | 8360   | 236,7   | 869,5                | 10,3  | 162   | 2115,4   | 8360   |  |
| Minutes                                                 | 189                                                               | 110 | 58 %  | 6,2     | 17,6    | 0   | 5     | 44,6     | 183    | 10,7    | 22                   | 1     | 11    | 63,1     | 183    |  |
| Fichiers 5 s                                            | 189                                                               | 110 | 58 %  | 9,5     | 31,2    | 0   | 5     | 67,9     | 341    | 16,4    | 39,6                 | 1     | 15    | 111      | 341    |  |

bas de l'île qui concentrent la majorité des points d'enregistrement). À l'exception des zones humides qui représentent une très faible surface, le Petit Molosse semble omniprésent au sein des quatre grands types d'habitats de la Réunion. Ceci illustre le fait que l'on ne peut s'appuyer uniquement sur les niveaux d'activité pour définir les enjeux. Les habitats les plus matures et sauvages sont souvent connus pour abriter une moindre quantité d'individus de chaque espèce, mais la diversité d'espèces y est plus importante, donc dans un certain nombre de cas une mauvaise lecture du référentiel peut amener à une interprétation inverse de la réalité.

Notre article soulève des questions auxquelles nous n'avons pas pu répondre faute d'échantillonnage suffisant : existe-il des différences d'activité saisonnières ? L'occupation du territoire est-elle différente entre l'été (période de formation des colonies) et l'hiver austral (période de dispersion des individus) ? Des écoutes continues comme celles réalisées dans le cadre du développement éolien permettraient d'apporter des éléments de réponse. Un complément d'échantillonnage des parties hautes de l'île et des cirques intérieurs paraît également indispensable.

#### COMPARAISONS ENTRE ESPÈCES

##### *Le Petit Molosse* (*Mormopterus francoismoutoui*)

Le Petit Molosse a été contacté sur 100 % des 189 nuits d'enregistrements exploitables, l'espèce est omniprésente sur l'île (Annexe 3).

La moyenne d'activité est de 161 minutes d'activité par nuit et le maximum de 640 minutes d'activité par nuit, ce qui correspond à une activité quasi continue toute la nuit.

Lorsque l'activité était maximale nous avons observé plus de 6600 fichiers d'enregistrement de cinq secondes et plus de 666 000 cris enregistrés par nuit.

D'après le Tableau 4 on peut considérer que l'activité est forte à partir de 243 minutes d'activité par nuit (ou à partir de 745 fichiers), elle est très forte à partir de 597 minutes d'activité par nuit.

Concernant l'activité horaire (Fig. 8), on observe un pic d'activité le soir vers 19-20 h et un second pic de moindre ampleur le matin avant le lever du soleil. On observe également que le pic d'activité du début de soirée est plus fort.

La cartographie (Annexe 3) donne l'impression que les plus fortes activités se rencontrent en basse altitude mais notre échantillonnage au-dessus de 500 m est insuffisant pour confirmer cette tendance. Il en va de même pour l'analyse par habitat, ce dernier étant très fortement lié à l'altitude dans leur répartition à la Réunion.

Nos résultats semblent souligner une différence de rythme biologique entre les deux saisons. En été les femelles allaitent les jeunes (Augros *et al.* 2015) et les besoins énergétiques sont donc importants, ce qui peut expliquer une activité quasi constante toute la nuit. En hiver les besoins énergétiques sont moins importants et les animaux sont rapidement rassasiés, ce qui peut expliquer une phase de repos en seconde partie de nuit. Cette hypothèse mériterait néanmoins d'être vérifiée par un jeu de données plus important car nous ne disposons que de seize nuits d'enregistrements en période hivernale.

##### *Le Taphien de Maurice* (*Taphozous mauritanus*)

Le Taphien de Maurice a été contacté sur 68 % des nuits d'enregistrements exploitables, l'espèce semble présente sur l'ensemble de l'île (Annexe 4).

D'après le Tableau 4, la moyenne d'activité lorsque l'espèce est présente est d'environ neuf minutes positives par nuit avec une activité maximale de 128 minutes d'activité par nuit.

Lorsque l'activité est maximale nous avons enregistré jusqu'à 456 fichiers de cinq secondes par nuit, ce qui représente plus de 18 895 cris.

On peut considérer que l'activité est forte pour le Taphien à partir de neuf minutes d'activité par nuit (ou 12 « contacts » de cinq secondes). L'activité est très forte à partir de 83 minutes d'activité par nuit.

Concernant l'activité horaire (Fig. 8) on observe un pic d'activité durant les deux premières heures de la nuit après

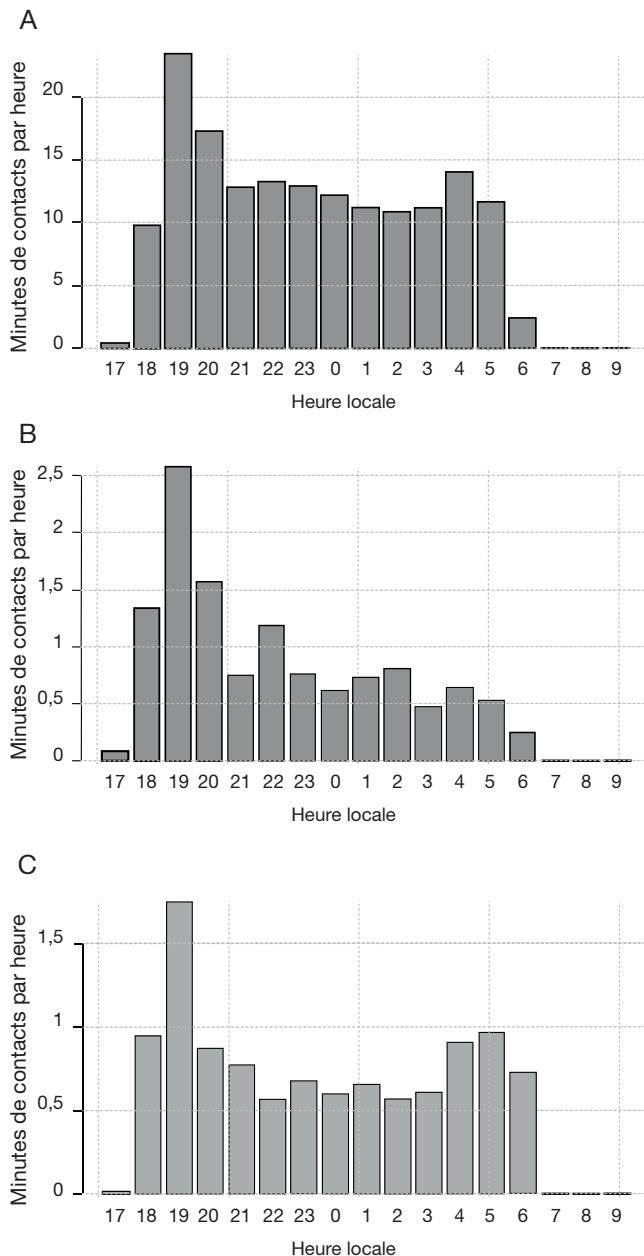


FIG. 8. — Moyenne des minutes positives par heure sur une nuit complète, par espèce. **A**, Petit Molosse *Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Rattrimomanarico, Probst & Bowie, 2008 (N = 189); **B**, Taphien de Maurice Taphien de Maurice *Taphozous mauritanus* É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818, (N = 132); **C**, *Chiroptera* sp1 (N = 110).

quoi l'activité décroît progressivement. On n'observe pas de pic d'activité matinale net comme chez le Petit Molosse.

Nos données sont insuffisantes pour étudier s'il y a des différences d'activité entre l'été et l'hiver.

#### *Chiroptera* sp1

*Chiroptera* sp1 a été contacté sur 58 % de nos nuits d'enregistrement, sa présence est plutôt localisée à l'échelle de l'île (Annexe 5).

*Chiroptera* sp1 a été enregistré avec une activité moyenne lorsque l'espèce était présente entre une et cinq minutes d'acti-

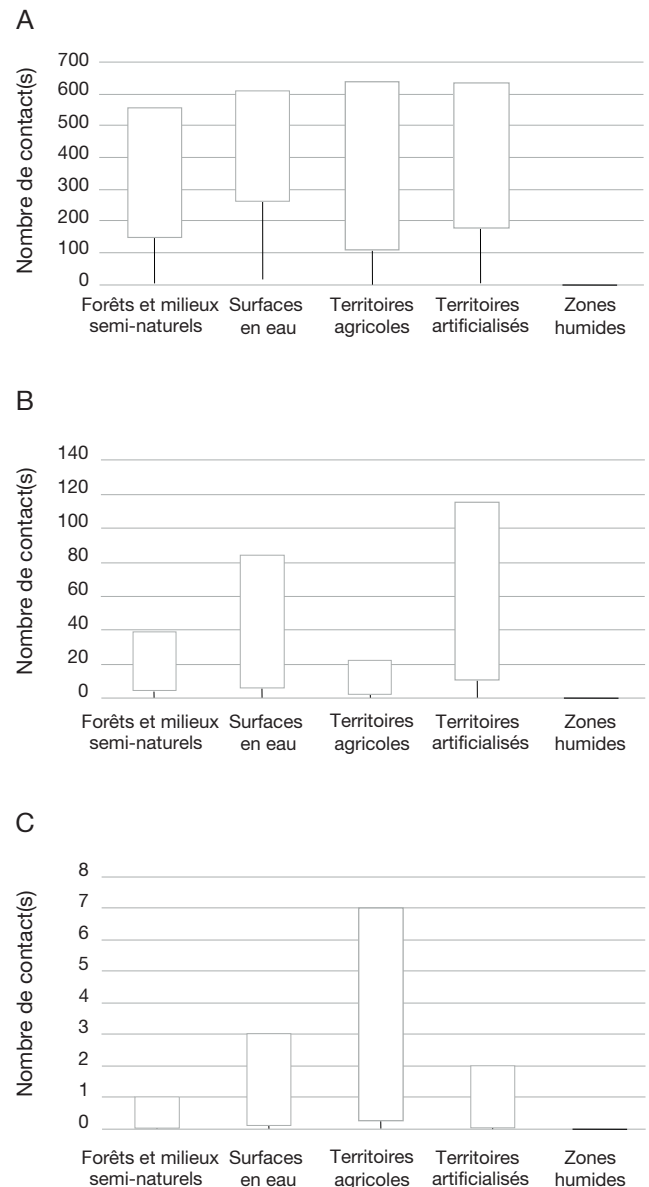


FIG. 9. — Niveau d'activité des espèces sur l'île d'après les enregistrements mobilisés. **A**, Petit Molosse *Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Rattrimomanarico, Probst & Bowie, 2008 (N = 189 nuits); **B**, Taphien de Maurice Taphien de Maurice *Taphozous mauritanus* É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818 (N = 132 nuits); **C**, *Chiroptera* sp1 (N = 110 nuits).

vité par nuit et avec une activité maximale de 183 minutes d'activité par nuit. Lorsque l'activité était maximale nous avons enregistré jusqu'à 341 fichiers d'enregistrement de cinq secondes par nuit ce qui représente 8360 cris attribués à ce type acoustique dans une nuit.

L'activité est considérée comme forte dès que l'espèce est contactée (Tableau 4). L'activité est « très forte » à partir de 45 minutes d'activité par nuit.

L'activité horaire de *Chiroptera* sp1 présente un fort pic d'activité en début de nuit, une période d'accalmie en milieu de nuit puis une reprise d'activité en fin de nuit.

TABEAU 5. — Échantillonnage de l'activité des différentes espèces par grand type d'habitat (N = 189 nuits).

| Principaux habitats             | Petit Molosse |            |     |     | Taphien de Maurice |            |     |     | Chiroptera sp1 |            |     |     |
|---------------------------------|---------------|------------|-----|-----|--------------------|------------|-----|-----|----------------|------------|-----|-----|
|                                 | Moyenne       | Écart-type | Min | Max | Moyenne            | Écart-type | Min | Max | Moyenne        | Écart-type | Min | Max |
| Forêts et milieux semi-naturels | 150,64        | 142,27     | 2   | 553 | 4,82               | 9,66       | 0   | 39  | 0,03           | 0,17       | 0   | 1   |
| Surfaces en eau                 | 262,16        | 145,21     | 15  | 610 | 5,9                | 15,43      | 0   | 84  | 0,1            | 0,54       | 0   | 3   |
| Territoires agricoles           | 106,56        | 138,92     | 1   | 640 | 2,56               | 4,91       | 0   | 22  | 0,27           | 1,16       | 0   | 7   |
| Territoires artificialisés      | 177,95        | 146,16     | 3   | 635 | 10,85              | 19,63      | 0   | 115 | 0,05           | 0,32       | 0   | 2   |
| Zones humides                   | 0             | 0          | 0   | 0   | 0                  | 0          | 0   | 0   | 0              | 0          | 0   | 0   |

Nos données sont insuffisantes pour étudier s'il y a des différences d'activité entre l'été et l'hiver.

Les résultats pour *Chiroptera* sp1 sont globalement difficilement interprétables en l'absence totale d'information sur l'écologie de cette possible espèce.

Néanmoins il faut souligner que les signaux acoustiques de *Chiroptera* sp1 sont sur des plages fréquentielles en recouvrement avec les deux autres espèces de microchiroptères présentes à la Réunion, particulièrement avec le Petit Molosse. *Chiroptera* sp1 aurait un domaine d'émission de 29 à 37 kHz (maximum d'énergie) alors que celui du Petit Molosse se situe de 31 à 51 kHz et celui du Taphien de Maurice de 24 à 27 kHz. Les risques d'erreur d'identification sont donc élevés et l'absence de certitude quant à la présence réelle de l'espèce sur l'île ne facilite pas la validation des identifications car il pourrait s'agir d'un morphotype acoustique du Petit Molosse en milieu ouvert.

Nos observations ont été très majoritairement réalisées dans la partie Nord de l'île mais Prié *et al.* (2016) et Augros (2017) mentionnent des observations sur toute la moitié Ouest de l'île.

On peut remarquer que la phénologie horaire de *Chiroptera* sp1 se rapproche de celle du Petit Molosse, considérant néanmoins que la distinction entre les deux espèces est parfois délicate.

## CONCLUSION

Les analyses menées ont permis de définir un premier référentiel d'activité acoustique des chauves-souris de la Réunion. Ce nouvel outil permettra d'éclairer plus objectivement les évaluations environnementales des projets d'aménagement.

Au regard du jeu de données entrant et des différentes analyses menées, nous recommandons qu'un échantillonnage plus complet et robuste puisse être mis en œuvre à l'échelle de l'île et des différents habitats. Ceci en vue d'une mise à jour du référentiel acoustique et des analyses relatives à l'activité des chauves-souris selon différents paramètres (altitude, pluviométrie, habitats, etc.).

## Remerciements

Le présent travail est le fruit de plus d'un an d'études, d'analyses et de synthèses, rendu possible par le financement de la Société immobilière du Département de la Réunion (SIDR) dans le cadre d'une mesure compensatoire en faveur du Petit Molosse, mais aussi par le soutien de la société Biotope.

Le travail de terrain conséquent mené par différents experts est également à souligner, qu'ils en soient vivement remerciés, en particulier pour le temps bénévole parfois passé sur le terrain. Enfin, un remerciement également à Mme Charlotte Roemer pour sa relecture avisée et ses conseils ainsi qu'aux rapporteurs M. Laurent Tillon et M. Kévin Barré.

## RÉFÉRENCES

- ADAMS A. M., MC GUIRE L. P., HOOTON L. A. & FENTON M. B. 2015. — How high is high? Using percentile thresholds to identify peak bat activity. *Canadian Journal of Zoology* 93 (4): 307-313. <https://doi.org/10.1139/cjz-2014-0230>
- ARMITAGE D. W. & OBER H. K. 2010. — A comparison of supervised learning techniques in the classification of bat echolocation calls. *Ecological Informatics* 5 (6) : 465-473. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.08.001>
- AUGROS S. 2017. — Update on the distribution of "*Chiroptera* sp1" in the southern and eastern parts of Réunion Island based on acoustic surveys. *African Bat Conservation News* 45: 5-9.
- AUGROS S., DENIS B., CROZET P., ROUE S. G. & FABULET P. Y. 2015. — La cohabitation entre l'homme et les microchiroptères à la Réunion: bilan actualisé, retours d'expérience et outils de conservation. *Vespère* 5: 371-384.
- BARATAUD M. 1996. — *Balades dans l'in audible*. Édition Sittelle, Mens, 48p.
- BARATAUD M. & GIOSA S. 2009. — *Identification et écologie des Chiroptères de la Réunion*. Parc national de la Réunion (Rapport de mission), Biotope, Saint-André, 62 p.
- BARATAUD M. & GIOSA S. 2013. — Identification et écologie acoustique des Chiroptères de la Réunion. *Le Rhinophe* 19: 147-175.
- BARATAUD M., BEUNEUX G., DESMET J. F., FAYRE P., GIOSA S. & ROUE S. 2014. — Découverte de signaux sonar d'un Chiroptère inconnu sur l'île de la Réunion. *Le Vespère* 3: 231-240
- BARRÉ K., LE VIOL I., JULLIARD R., PAUWELS J., NEWSON S. E., JULIEN J. F., CLAIREAU F., BAS Y. & KERBIRIOU C. 2019. — Accounting for automated identification errors in acoustic surveys. *Methods in Ecology and Evolution* 10 (8): 1171-1188. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13198>
- BAS Y., BAS D. & JULIEN J. F. 2017. — Tadarida: a toolbox for animal detection on acoustic recordings. *Journal of Open Research Software* 5: 6. <https://doi.org/10.5334/jors.154>
- BREIMAN L. 2001. — Random Forests. *Machine Learning* 45: 5-35. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- GANNON W. L., SHERWIN R. E. & HAYMOND S. 2003. — On the importance of articulating assumptions when conducting acoustic studies of habitat use by bats. *Wildlife Society Bulletin* 31 (1): 45-61.
- HAQUART A. 2013. — *Référentiel d'activité des Chiroptères, éléments pour l'interprétation des dénombrements de Chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française*. École pratique des hautes Études, Biotope, Le Luc en Provence, 99 p.
- HAQUART A. 2015. — ACTICHIRO, un référentiel pour

- l'interprétation des dénombrements de Chiroptères avec les méthodes acoustique en France. *Symbiose* (34-35): 1-9.
- HAYES J. P. 1997. — Temporal variation in activity of bats and the design of echolocation-monitoring studies. *Journal of Mammalogy* 78 (2): 514-524. <https://doi.org/10.2307/1382902>
- KUNZ T. H. & PARSONS S. 2009. — *Ecological and behavioral methods for the study of bats* [second edition]. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, 901 p.
- LINTOTT P. R., DAVISON S., VAN BRED A J., KUBASIEWICZ L., DOWSE D., DAISLEY J., HADDY E. & MATHEWS F. 2017. — Eco-bat: an online resource to facilitate transparent, evidence-based interpretation of bat activity data. *Ecology and Evolution* 8 (2): 935-941. <https://doi.org/10.1002/ece3.3692>
- MACKENZIE D. I., NICHOLS J. D., LACHMAN G., DROEGE S., ROYLE J. A. & LANGTIMM C. A. 2002. — Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than one. *Ecology* 83 (8): 2248-2255. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[2248:ESORWD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[2248:ESORWD]2.0.CO;2)
- MILLER B. W. 2001. — A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. *Acta Chiropterologica* 3 (1): 93-105.
- MURRAY K. L., BRITZKE E. R., HADLEY B. M. & ROBBINS L. W. 1999. — Surveying bat communities: a comparison between mist nets and the anabat ii bat detector system. *Acta Chiropterologica* 1 (1): 105-112.
- O'FARRELL M. J. & GANNON W. L. 1999. — A comparison of acoustic versus capture techniques for the inventory of bats. *Journal of Mammalogy* 80 (1): 24-30. <https://doi.org/10.2307/1383204>
- O'HARA R. B. & KOTZE D. J. 2010. — Do not log-transform count data. *British Ecological Society* 1 (2): 118-122. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2010.00021.x>
- PRIÉ V., AUGROS S., AMIRAULT G., BAS Y., DESMET J.-F., FAVRE P., GIOSA S., HOARAU C., SOUQUET M., VINET O. & BARATAUD M. 2016. — Actualisation des critères acoustiques et synthèse des données concernant le présumé *Scotophilus* sp. à la Réunion (Mascareignes, France). *Le Vespère* 6: 385-396.
- SCANLON A. T. & PETIT S. 2008. — Effects of site, time, weather and light on urban bat activity and richness: considerations for survey effort. *Wildlife Research* 35 (8): 821-834. <https://doi.org/10.1071/WR08035>

Soumis le 25 avril 2020;  
 accepté le 6 mai 2022;  
 publié le 21 septembre 2022.

ANNEXES

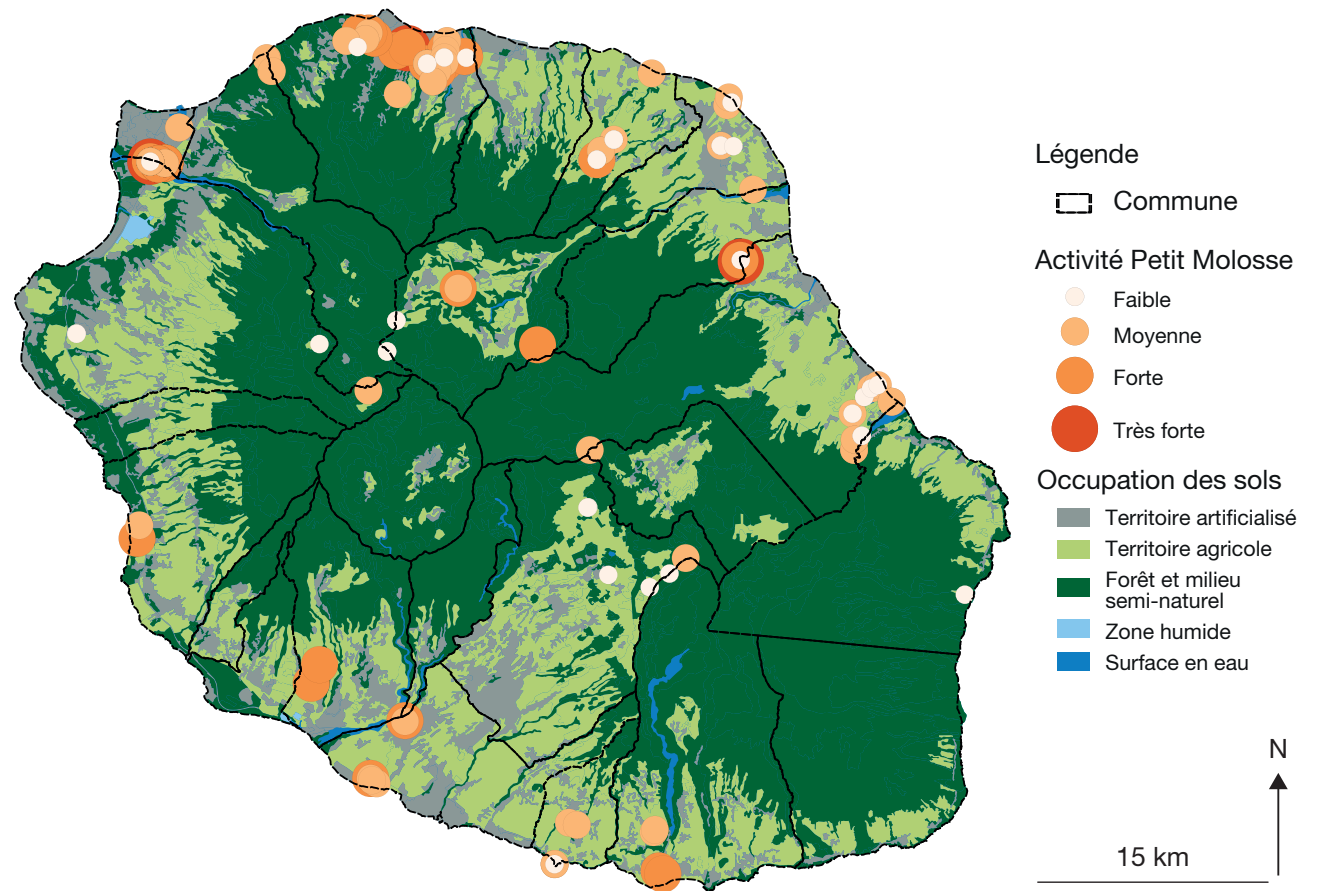
ANNEXE 1. — Répartition des données (nombre de nuits complètes d'enregistrement) par auteur des collecte.

|                    | 2012 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Alexandre Haquart  | –    | –    | –    | –    | 9    | –    | 9     |
| Cédric Hoarau      | –    | 2    | 2    | 1    | 3    | 3    | 11    |
| Guillaume Amirault | –    | –    | 4    | 21   | 5    | –    | 30    |
| Julien Poirion     | –    | –    | 2    | 42   | 48   | 11   | 103   |
| Nicolas Paranthoën | –    | –    | 5    | 20   | 6    | –    | 31    |
| Séverine Goertz    | –    | –    | –    | 6    | 14   | 3    | 23    |
| Vincent Prie       | 8    | –    | –    | –    | –    | –    | 8     |
| Total              | 8    | 2    | 13   | 90   | 85   | 17   | 215   |

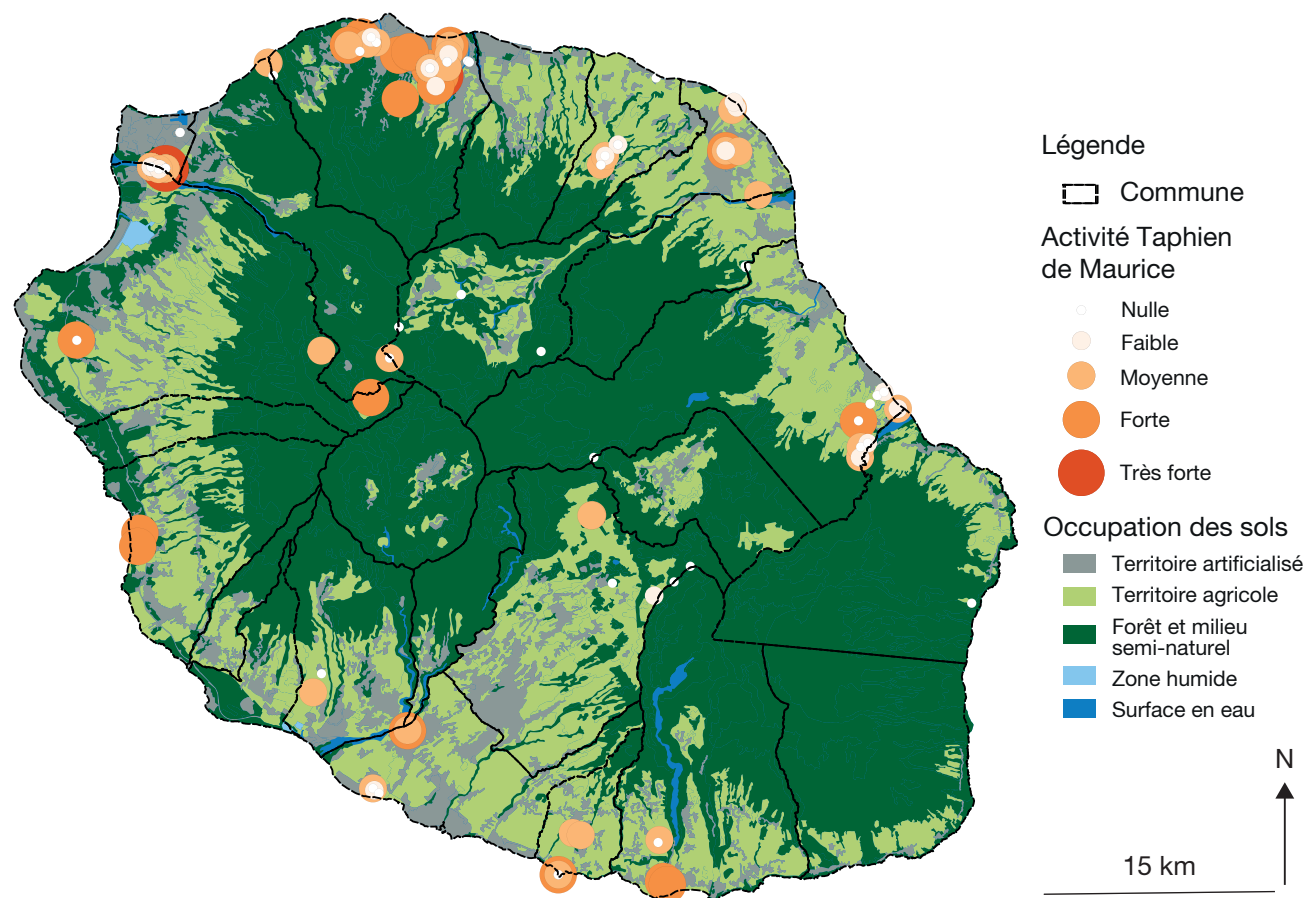
ANNEXE 2. — Synthèse des résultats par indices, unités et espèces. Abréviations : **ActG**, moyenne d'activité générale ; **ActP**, moyenne d'activité si présence ; **Max**, maximum ; **Q25**, valeur des quantiles à 25 % ; **Q75**, valeur des quantiles à 75 % ; **Q98**, valeur des quantiles à 98 %.

| Unité    | Espèce             | ActG    | ActP    | Q25 | Q75   | Q98      | Max    |
|----------|--------------------|---------|---------|-----|-------|----------|--------|
| Minutes  | Petit Molosse      | 163,2   | 163,2   | 43  | 243   | 596,2    | 640    |
|          | Taphien de Maurice | 8,7     | 12,4    | 0   | 9     | 82,1     | 128    |
|          | Chiroptera sp1     | 6,2     | 10,7    | 0   | 5     | 44,6     | 183    |
| Fichiers | Petit Molosse      | 671,7   | 671,7   | 92  | 745   | 4118,4   | 5164   |
|          | Taphien de Maurice | 15      | 21,5    | 0   | 12    | 149,5    | 456    |
|          | Chiroptera sp1     | 9,5     | 16,4    | 0   | 5     | 67,9     | 341    |
| Cris     | Petit Molosse      | 18259,4 | 18259,4 | 965 | 12503 | 151764,8 | 468984 |
|          | Taphien de Maurice | 179,9   | 268,2   | 0   | 54    | 682,4    | 18895  |
|          | Chiroptera sp1     | 137,8   | 236,7   | 0   | 52    | 1077,2   | 8360   |

ANNEXE 3. — Carte des niveaux d'activité du Petit Molosse (*Mormopterus francoismoutoui* Goodman, Jansen van Vuuren, Ratrimomanarico, Probst & Bowie, 2008) sur l'île de la Réunion d'après les enregistrements mobilisés (N = 215 nuits). Source : GEOFLA IGN (2020), Corine Land Cover (2012), NASA SRTM (2020).



ANNEXE 4. — Carte des niveaux d'activité du Taphien de Maurice (*Taphozous mauritanus* É. Geoffroy Saint-Hilaire, 1818) sur l'île de la Réunion d'après les enregistrements mobilisés (N = 215 nuits). Source: GEOFLA IGN (2020), Corine Land Cover (2012), NASA SRTM (2020).



ANNEXE 5. — Carte des niveaux d'activité de *Chiroptera* sp1 sur l'île de la Réunion d'après les enregistrements mobilisés (N = 215 nuits). Source : Source : GEOFLA IGN (2020), Corine Land Cover (2012), NASA SRTM (2020).

