biotope
Agence
Amazonie
Caraïbes

La niche écologique d'*Allobates chalcopis*

Applications pour la conservation

Maël Dewynter, Kévin Pineau & Yves Bas
Septembre 2012

Office National des Forêts

DEAL Martinique

Cette étude a été réalisée pour le compte de la DEAL Martinique et de l'ONF (Direction Régionale de la Martinique). Elle complète une première étude réalisée en octobre 2011 sur le statut taxonomique et de conservation d'*Allobates chalcopis*.

Nous tenons à remercier vivement M. **Jean-Baptiste Schneider** (ONF - DR Martinique), M. **Rodrigue Doré** (ONF - DR Martinique), M. **Julien Mailles** (DEAL Martinique) et **M. Cyrille Barnérias** (DEAL Martinique) pour l'intérêt porté à cette étude et la grande efficacité dont ils ont fait preuve dans son montage budgétaire. Ils nous ont également fait l'honneur de nous accompagner lors de prospections herpétologiques.

Merci à Nicolas Drapier, Laurent Tillon, Cédric Baudran et Evelyne Acquenin de l'ONF pour leurs accord et réactivité dans l'octroi de fonds FEDD.

BIOTOPE Amazonie-Caraïbes
30 domaine de Montabo
Lotissement Ribal
97300 Cayenne
Tel: 0594 39 18 02
Fax: 0594 39 14 06
Site Internet : www.biotope.fr

Responsable du projet
Maël Dewynter
30 domaine de Montabo
Lotissement Ribal
97300 Cayenne

Tel : 05 94 39 18 02
Gsm : 06 94 95 28 08

mdewynter@biotope.fr
mael.dewynter@gmail.com

Prospections
Maël Dewynter, Kévin Pineau

Analyses des sons
Yves Bas

Cartographie
Audrey Thonnel

Rédaction & mise en page
Maël Dewynter, Kévin Pineau

Photographies
Les clichés non crédités sont de M. Dewynter / Biotope.

Fond cartographique
IGN (convention ONF-Biotope)

INTRODUCTION

En octobre 2011, une mission exploratoire financée par l'ONF de la Martinique et la DEAL a permis de retrouver une population d'*Allobates chalcopis* cantonnée aux savanes d'altitude de la Montagne Pelée au-dessus de 800 m asl.
La capture de deux individus nous a permis d'explorer les relations phylogénétiques d'*Allobates chalcopis* aux taxons connus d'Amérique du Sud. Ces travaux, menés par Antoine Fouquet (initialement dans le cadre de l'Université de Sau Paulo, puis dans le cadre d'un poste au CNRS de Guyane) ont révélé le statut d'endémique stricte d'*A. chalcopis* à la Martinique. La forte divergence génétique avec les espèces sud-américaines indique un isolement très ancien accompli entre 8,8 et 14 millions d'année.
Parallèlement, les données de distribution acquises pendant la première mission ont mis en exergue une probable contraction de l'aire de répartition vers le sommet de la Montagne Pelée. Ce constat évoque une réaction aux changements climatiques et souligne l'urgence de mener un suivi rigoureux de l'espèce dont le statut UICN devrait évoluer de "*Vulnérable*" à "*En danger critique d'extinction*".
Les résultats de cette étude ont été présentés dans une publication scientifique soumise à la revue *Systematics and Biodiversity* :

Fouquet A., Pineau K., Rodrigues M. T., Mailles J., Schneider J.-B., Ernst R., and Dewynter M. soumis.
Endemic or exotic: The phylogenetic position of the Martinique Volcano Frog Allobates chalcopis (Anura: Dendrobatidae) sheds light on its origin and challenges current conservation strategies. *Systematics and Biodiversity.*

Cette première phase achevée, Biotope a proposé à la DEAL et l'ONF de réfléchir à la mise en oeuvre d'un **plan régional d'actions** visant à étudier l'évolution de la population de cette espèce à forte valeur patrimoniale.
Nous avons proposé à cet effet un protocole de suivi basé sur une évaluation de l'abondance des mâles chanteurs à travers des enregistrements et une analyse largement automatisés.

Avant d'initier un programme pluriannuel, il a été convenu de compléter l'étude de 2011 par des prospections complémentaires en 2012 visant à :

1 - prospecter de nouveau les stations historiques (vers 500 m d'altitude) pour confirmer l'absence de populations relictuelles dans les zones basses ;

2 - prospecter des accès à la Montagne Pelée non évalués lors de la première mission ;

3 - prospecter les sommets élevés des Pitons du carbet (notamment le Piton Bouchet, le Piton de l'Alma, le Piton du Mauzé et le Piton Lacroix) car il y a une forte présomption de présence d'une population isolée dans ce secteur ;

4 - mener une étude du rythme d'activité circadien d'*Allobates* sur le plateau des palmistes et sur la station répertoriée la plus basse – à l'aide d'enregistreurs automatiques, associés à une prise de données continue de variables : température, hygrométrie et luminosité.

Ce rapport présente les résultats obtenus en septembre 2012.
Tout d'abord, une nouvelle population isolée, découverte sur le Piton Bouchet, apporte de nouveaux arguments pour la mise en place d'une réserve biologique sur les Pitons du Carbet.

Les enregistrements programmés sur la montagne Pelée ont par ailleurs fournis des données essentielles, permettant de définir un protocole de suivi permanent automatisé.
Enfin, les données de répartition, de biotope et de rythme d'activité permettent d'énoncer certains éléments de la **niche écologique** d'*Allobates chalcopis*. La notion de niche écologique résume, par une approche multidimensionnelle, les traits d'histoire de vie d'une espèce. La connaissance des éléments de cette niche est un préalable essentiel à la mise en place de mesures conservatoires efficaces.

MÉTHODOLOGIE

Cette deuxième mission d'évaluation du statut d'*Allobates chalcopis* a eu lieu du 03 au 12 septembre 2012.
Les objectifs fixés étaient (1) - d'acquérir des données complémentaires sur la distribution en prospectant de nouveaux secteurs et (2) - de collecter des éléments d'éco-éthologie afin de mettre en place un suivi à long terme de la population de la Montagne pelée.

Modélisation de niche & aire de distribution

Avant d'orienter les prospections vers de nouveaux secteurs, nous avons utilisé les données de localités obtenues en 2011 pour **modéliser la répartition** de l'espèce (Figure 1).
Pour y parvenir, un jeu de données de variables environnementales issues du projet **WorldClim** (*http://www.worldclim.org/*) et les localités de présence de l'espèce ont été confrontées à l'aide du logiciel de modélisation de niche **MaxEnt** (*Maximum Entropy Modeling* : *http://homepages.inf.ed.ac.uk/lzhang10/maxent.html*).
WorldClim regroupe un ensemble de données climatiques, à une **résolution spatiale d'un kilomètre carré**. Ces données ont été visualisées sur **QGIS** (Quantum Gis Project : http://www.qgis.org/) et utilisées comme variables pour la modélisation de la niche écologique d'*Allobates chalcopis* sous MaxEnt.
Sur la figure 1, les secteurs les plus favorables à la présence d'*Allobates* apparaissent en couleurs chaudes. Des sites favorables situés hors du massif montagneux de la Pelée, le Morne Jacob et les Pitons du Carbet, ont donc été spécifiquement prospectés.

L'utilisation de nouvelles variables (végétation, taux d'urbanisation, etc.) à une résolution de 100 m (pixel d'1 ha) et d'une nouvelle localité, nous permet à présent de proposer un modèle actualisé - bien plus précis - de la distribution d'*A. chalcopis.* La méthodologie appliquée et les résultats sont développés plus loin.

Eléments d'éco-éthologie

Le deuxième objectif de la mission a été de collecter des éléments d'éco-éthologie permettant de définir **un protocole de suivi à long terme** de la population de la Montagne Pelée.

L'extrême difficulté de capture d'*Allobates chalcopis* - seuls deux mâles ont été capturés au cours de la première mission - oblitère toute évaluation de taille de population et tout suivi par des techniques classiques de capture-marquage-recapture.
Nous proposons donc de considérer l'**indice d'activité vocale des mâles comme un estimateur de l'état de santé de la population**.
Une baisse régulière de l'activité vocale des mâles d'une localité pouvant être ainsi considérée comme un indice fiable du déclin de la population.
L'activité vocale des mâles suit toutefois un rythme circadien et probablement un rythme annuel dépendant de variables environnementales comme la température, la pluviométrie, l'hygrométrie, etc.
Un préalable à la mise en place d'un suivi à long terme est donc d'établir d'une part le **rythme circadien** (pics d'activités de chant) et d'autre part le **rythme annuel** (saisons favorables et variables explicatives).

Ces conditions remplies, nous pourrons calibrer un protocole de suivi permanent en programmant l'enregistrement des plages horaires les plus pertinentes. L'objectif étant de réduire au maximum l'échantillonnage pour limiter d'une part les déplacements sur site et d'autre part le temps d'analyse - donc les coûts du programme de suivi.

L'étude du rythme d'activité circadien d'Allobates sur la Montagne Pelée a fait appel à des enregistreurs automatiques (SM2), associés à une prise de données continue des variables suivantes : température, hygrométrie et luminosité.
Deux SM2 ont été disposés sur deux stations du plateau des palmistes (Montagne Pelée) pendant 72 heures (3 jours) puis déplacés sur deux stations plus basses le long de l'accès à l'aileron pour une durée de 72 heures également. 4 stations ont donc été suivis sur une période de 6 jours.
Chaque station était composée d'un enregistreur SM2 avec micro acoustique, d'un datalogger de température et d'hygrométrie (HOBO U23 Pro V2 Temp/Rh) et d'un datalogger de température et de luminosité (HOBO PENDANT). Les SM2 ont été programmés pour mémoriser un enregistrement de 20 secondes toutes les 5 minutes soit 288 enregistrements par jour et 864 fichiers sons par station. Au total, le dispositif des 4 stations a fourni 3456 "fichiers son" de 20 secondes. Les dataloggers ont été synchronisés (à la seconde) avec les SM2 et ont également fournis une prise de donnée instantannée toutes les 5 minutes.

L'analyse des sons s'est appuyée sur le pro-

gramme **Sonochiro** développé par le **département Recherche & Innovation de Biotope**. Ce programme, conçu initialement pour l'étude des chauves-souris permet un traitement automatique et rapide d'importants volumes d'enregistrements. Il a spécifiquement été adapté à l'étude des amphibiens pour les besoins de cette étude.
Les résultats de Sonochiro sont présentés sous la forme d'un tableur *Excel* fournissant le nombre de cris d'*Allobates* par fichier son, mais également le nombre de cris d'*Eleutherodactylus johnstonei* et *E. martinicensis.* Un "risque d'erreur" est associé à chaque ligne afin de permettre de vérifier manuellement les fichiers douteux (sons très atténués par la distance).

Deux types d'analyses ont été appliqués à ce jeu de données. D'une part, une représentation graphique de l'activité vocale a permis de visualiser les rythmes circadiens et d'explorer les relations entre variables ; d'autre part nous avons analysé les relations entre variables environnementales et rythme d'activité à l'aide de modèles linéaires généralisés (GLM) et de modèles additifs généralisés (GAM) qui sont une extension non paramétrique des GLM.

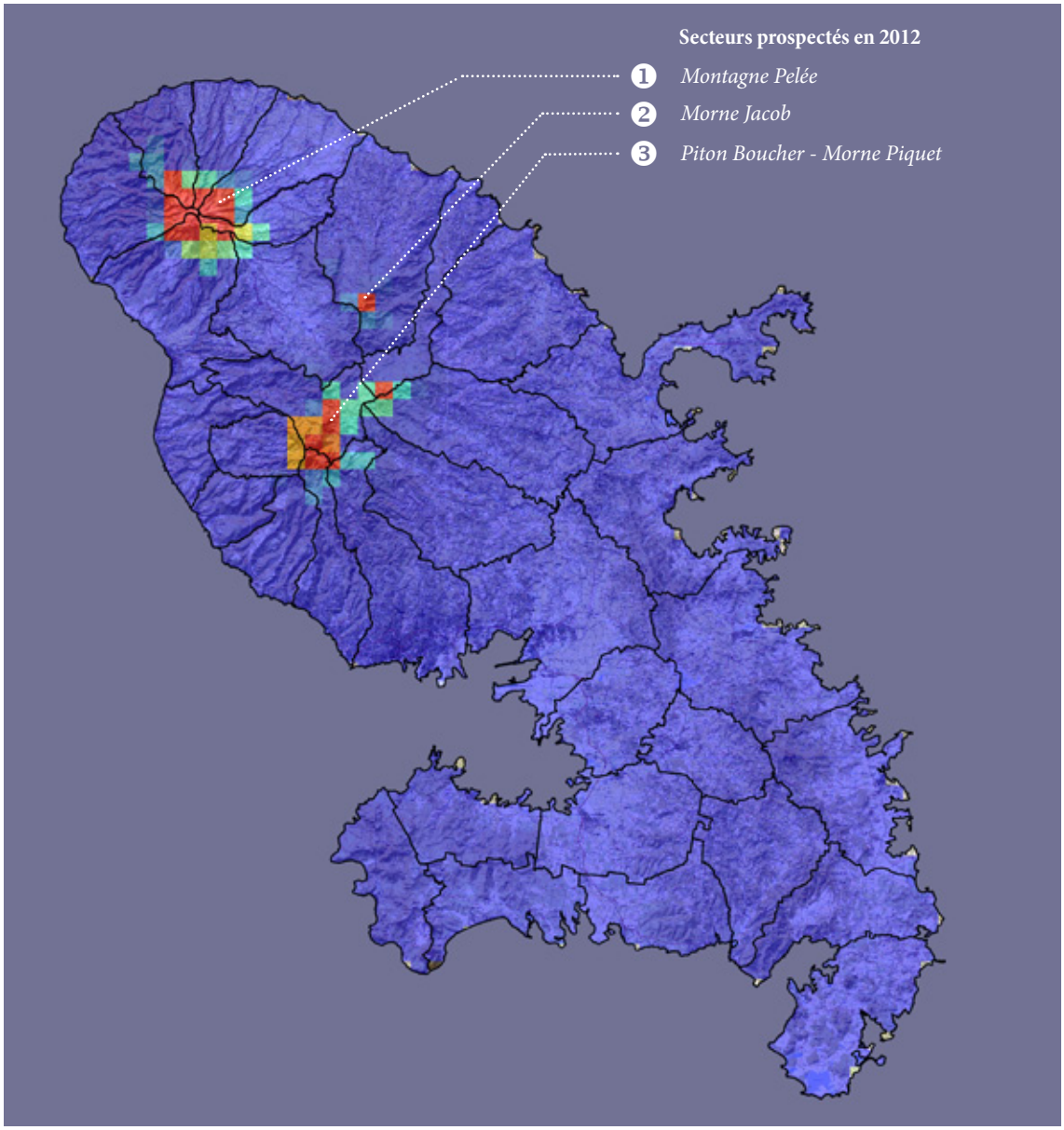


Figure 1 : Modèle de distribution d'*Allobates chalcopis* à une définition de 1 km. Les données qui ont contribué à élaborer ce modèle sont les localités d'*Allobates* collectées en 2011 (uniquement sur la Montagne Pelée) et les 19 variables environnementales (BioClim) du projet WorldClim. Nb. *Pour la réalisation de cette carte - à vocation exploratoire - nous n'avons pas vérifier les corrélations entre variables climatiques.*

Le Song Meter 2

Le boitier SM2 est un boîtier destiné à enregistrer tout son de l'audible à l'ultrason. Il fonctionne avec une carte son principale (appelée SM2) et une carte secondaire, branchée en dessous, appelée SM2BAT. Cette dernière permet d'échantillonner et de traiter les ultrasons, captés grâce au microphone fourni (le SMX-US), avec une bonne qualité de restitution.

Ce matériel, à l'épreuve des intempéries, est capable de surveiller et d'enregistrer en continu sur de longues périodes de temps les cris d'écholocation des chauves-souris et **des émissions sonores** d'oiseaux, d'insectes et **de batraciens**.

Le SM2 contient :

• Une sonde thermique interne.
• Deux entrées microphone dont un microphone acoustique pour enregistrer les oiseaux, les batraciens, les orthoptères et d'autres sons audibles.
• Une entrée pour un câble d'adapteur de batterie 12 V.

Pour l'utilisation de cet outil, des logiciels GRATUITS sont téléchargeables sur le site internet de Wildlife acoustics : un logiciel de paramétrage du boitier SM2BAT et un convertisseur .WAC au format lisible .WAV avec BatSound, Raven ou tout autre logiciel de visualisation de sons.

Sonochiro : le principe

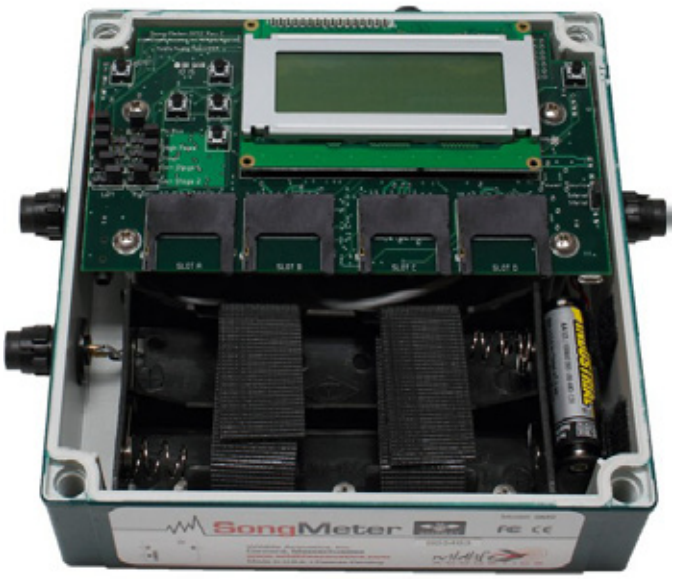
Le programme Sonochiro inclut :

• Un algorithme de détection et de délimitation des signaux détectés.

• Une mesure automatique, sur chaque cri, de paramètres discriminants (répartition temps/ fréquence/amplitude, caractérisation du rythme et ratios signal/ bruit).

• Une classification des cris basée sur les mesures d'un panel de sons de référence. Cette banque de sons a été rassemblée par notre équipe en Martinique. La classification s'appuie sur la méthode des forêts d'arbres décisionnels ("random forest") qui semble plus performante pour la classification des signaux que les autres méthodes de classification (réseaux de neurones, analyses discriminantes, etc.) : elle tolère bien la multiplicité des types de cris par espèce. De plus, elle permet d'obtenir, pour chaque cri, une probabilité d'appartenance à chaque espèce potentielle.

• Une identification à la séquence de cris, incluant l'espèce la plus probable et un indice de confiance de cette identification.



◀ Enregistreur HOBO PENDANT de température et de luminosité, résistants aux intempéries et étanches.

Enregistreur de température/hygrométrie en interne et/ou externe avec interface USB optique HOBO datalogger U23 Pro V2 Temp/Rh

Modélisation de niche & aire de distribution

Figure 2 : Modèles de niche écologique d'*Allobates chalcopis*.

Figure 2a - Modèle de niche à une résolution de 1 km. (Données de 2011)
Figure 2b - Modèle de niche à une résolution de 100 m. (Données de 2011 & 2012)
Figure 2c - Modèle de niche à une résolution de 100 m, zoom sur les secteurs favorables.

Les données qui ont contribué à élaborer le modèle de 2012 sont les localités d'*Allobates* collectées en 2011 et 2012 (Montagne Pelée et Piton Boucher) et les variables environnementales suivantes : 15 types de végétation, taux d'urbanisation & linéaire de cours d'eau.
Les localités sont représentées par des points blancs, la probabilité de présence par la couleur des pixels.

Afin de modéliser la niche écologique d'*Allobates chalcopis* et donc d'obtenir une estimation de sa répartition, nous avons d'abord utiliser un jeu de données bioclimatiques issues du programme WorldClim (19 variables liées à la température et à la pluviométrie). Nous avons testé plusieurs modèles en retirant des variables *a priori* corrélées, mais aucun test formel de corrélation des variables n'a été fait à ce stade.

Ce premier résultat (Figure 2a), exploratoire, a mis en évidence trois secteurs favorables : le sommet de la montagne Pelée, où l'espèce a été trouvée en 2011, le sommet du Morne Jacob et les Pitons du Carbet. En 2012, nous avons spécifiquement prospecté le Morne Jacob et la crête reliant le Piton Boucher au Morne Piquet. La présence d'*Allobates* au sommet du Morne Jacob n'a pas été détectée. **En revanche, une nouvelle population a effectivement été trouvée sur le Piton Boucher**, **validant ainsi la pertinence du modèle.**

Le modèle fourni par MaxEnt indique que les variables expliquant le mieux la répartition des populations d'*Allobates* sont l'**amplitude thermique moyenne** (BIO2 : moyennes mensuelles = Temp max - Temp min.) et la **quantité de précipitations du mois le plus sec** (BIO14).
Au-delà d'une amplitude thermique de 7,1°C, la probabilité de présence des *Allobates* augmente brutalement ; au-delà de 200 mm de précipitation pendant le mois le plus sec, la probabilité de présence augmente également significativement. Ces deux variables sont liées à l'altitude et à la capacité des massifs montagneux à piéger les nuages - particulièrement en saison sèche. **Températures nocturnes fraiches et apport d'humidité pendant la saison sèche agissent en synergie pour maintenir les populations d'*Allobates* sur les sommets de la Martinique**.

Suite aux prospections de 2012, nous avons intégré les nouvelles localités dans le SIG (20 localités au total) et créé de nouvelles variables à une échelle plus fine. Le nouveau maillage présente des pixels d'1 ha. Il est donc 100 fois plus précis que le précédent. Chaque pixel contient les informations suivantes : linéaire de cours d'eau, pourcentage bâti, surface et type de végétation (parmi 15 types définis par l'IFN). Les tests de corrélations entre variables ont montré qu'elles étaient indépendantes : elles ont donc été intégrés dans un nouveau modèle de distribution (Figures 2b & 2c).
On constate d'emblée que les deux modèles (2a & 2b) présentent des patrons très similaires malgré l'utilisation de variables différentes. Par ailleurs, nous avons testé 100 modèles de distributions de 20 localités distribuées aléatoirement. Notre modèle figure parmi les 5 modèles les plus performants : en surpassant 95 % des modèles "nuls", il est statistiquement valable.
Les deux variables qui contribuent le plus à ce nouveau modèle sont - sans surprise - la **superficie des végétations d'altitude** ("Formation Altimontaine tropicale") des types PE et dans une moindre mesure AL de l'*Inventaire Forestier National (IFN)*. Cette végétation est liée aux conditions bioclimatiques d'altitude ce qui explique la forte convergence des deux modèles.
La meilleure résolution des données de végétation (par rapport aux données bioclimatiques) nous encourage à privilégier le deuxième modèle pour présenter une carte de la probabilité de présence d'*Allobates*. En revanche, les données bioclimatiques seront privilégiées pour modéliser la distribution future d'*Allobates* face aux changements climatiques. Sur la figure 2c, on peut considérer que les secteurs orange foncé et rouges sont très favorables à *Allobates chalcopis*. Les secteurs orange clair et jaunes présentent une probabilité moindre et sont, dans l'état actuel

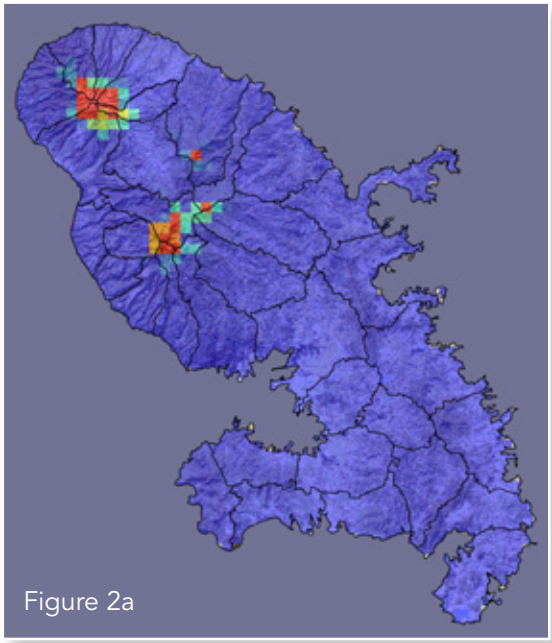


Figure 2a

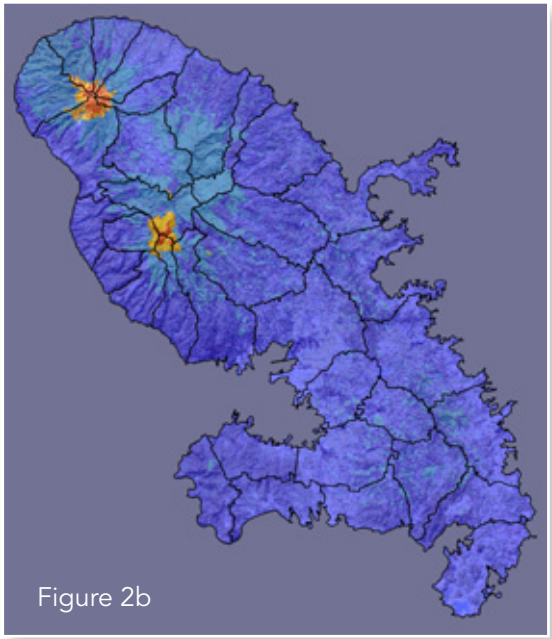


Figure 2b

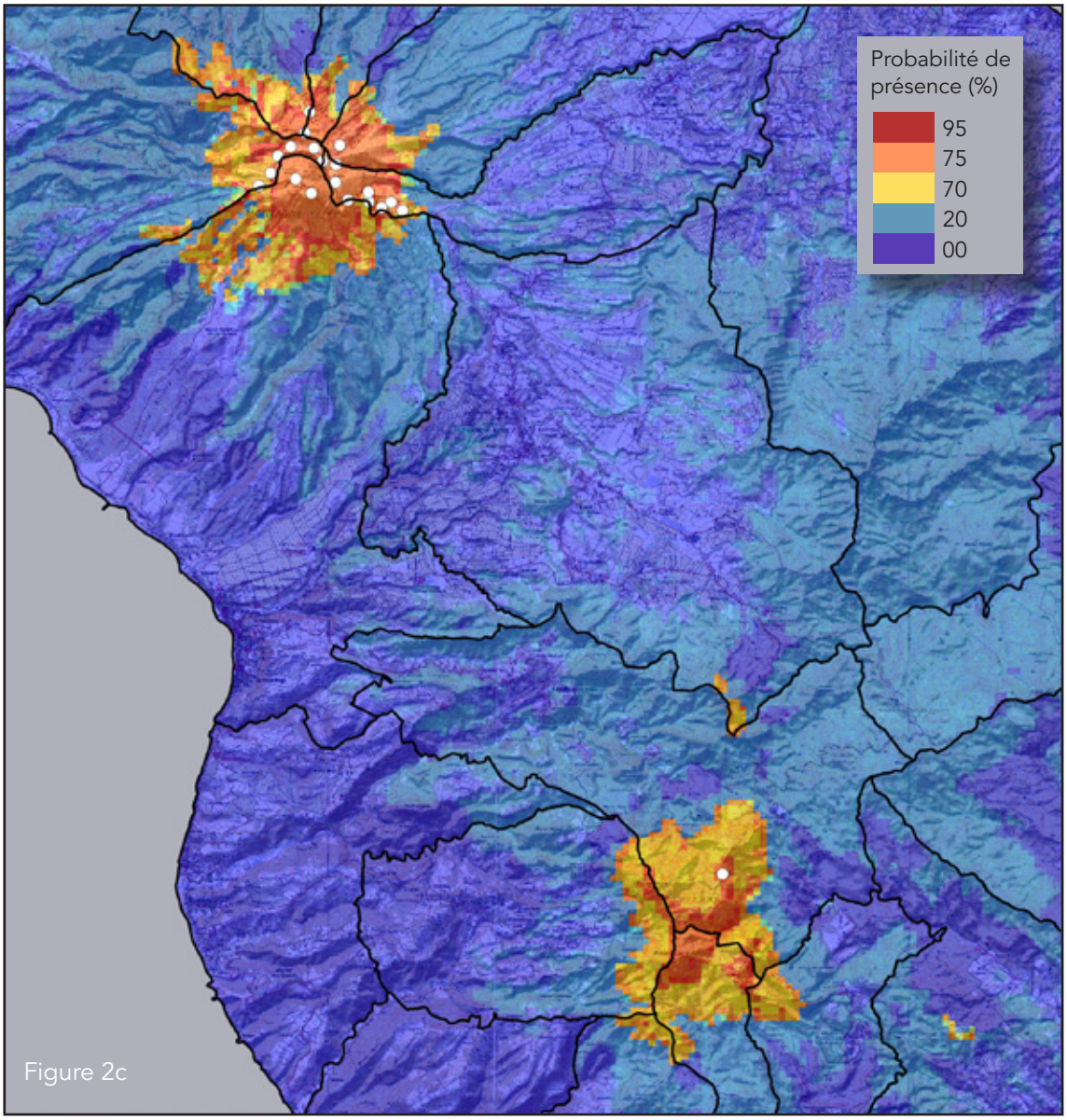


Figure 2c

des connaissances, dépourvus d'*Allobates*. Ils ont pu être plus favorables dans un passé très proche (années 90), mais cela ne semble plus être le cas. Les secteurs bleus sont défavorables.

En considérant les zones de probabilité de présence supérieure à 75%, l'aire de répartition totale couvre donc environ 700 ha (7 km²). Elle se divise en **deux noyaux isolés**, la Montagne Pelée (environ 500 ha) et les pitons du Carbet (environ 200 ha), eux même probablement fractionnés en plusieurs petites populations disjointes.

Avec la découverte de la population des pitons du Carbet, cette estimation de l'aire de répartition est sensiblement supérieure à celle évoquée dans notre publication (Fouquet *et al*. soumis) qui était de 370 ha. Le statut de conservation proposé - en danger critique d'extinction - demeure valide selon les critères UICN.

Liste des variables utilisées :

En rouge, les variables dont la contribution est la plus forte.

source : WorldClim

BIO1 : Annual Mean Temperature
BIO2 : Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
BIO3 : Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO4 : Temperature Seasonality (standard deviation *100)
BIO5 : Max Temperature of Warmest Month
BIO6 : Min Temperature of Coldest Month
BIO7 : Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
BIO8 : Mean Temperature of Wettest Quarter
BIO9 : Mean Temperature of Driest Quarter
BIO10 : Mean Temperature of Warmest Quarter
BIO11 : Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO12 : Annual Precipitation
BIO13 : Precipitation of Wettest Month
BIO14 : Precipitation of Driest Month
BIO15 : Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
BIO16 : Precipitation of Wettest Quarter
BIO17 : Precipitation of Driest Quarter
BIO18 : Precipitation of Warmest Quarter
BIO19 : Precipitation of Coldest Quarter

source : IFN (Inventaire forestier national)

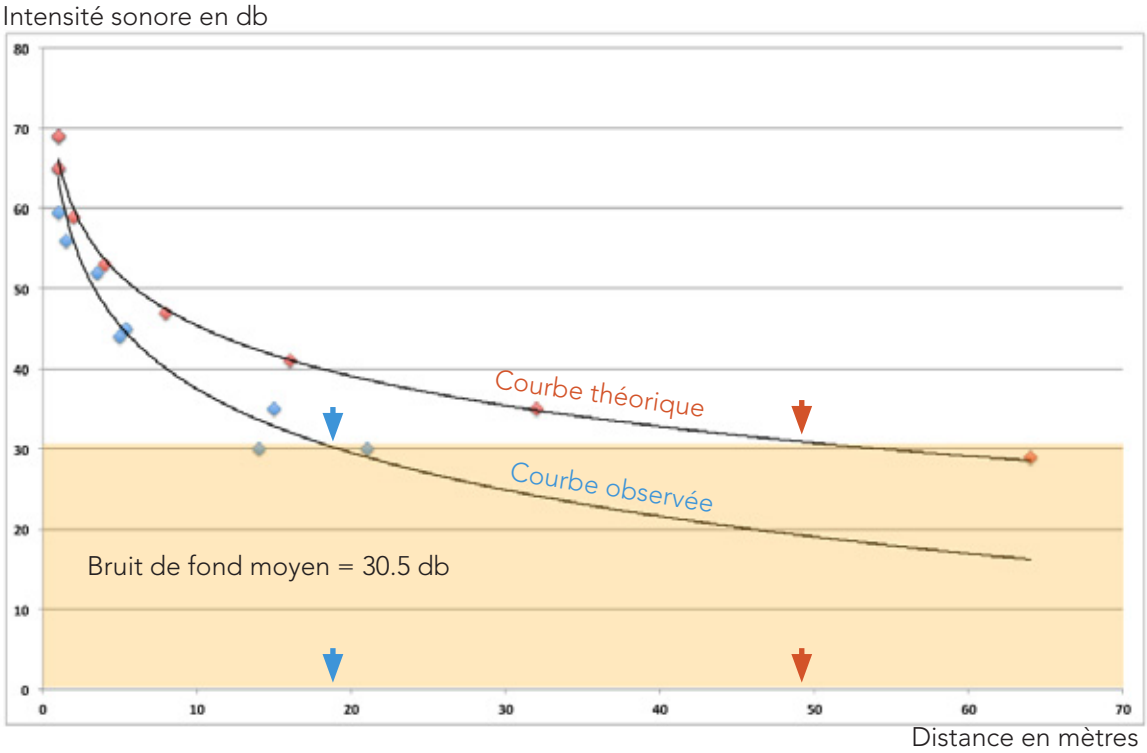
BA : Bambous
FP : Forêt de plage
HU : Forêt moyennement humide et humide
XA / XB : Forêts sèches
AL / PE : Formations altimontaines tropicales
MA : Mangrove
MY : Peuplement de Mahogany

Autres données

Réseau hydrographique
Bâtiments

Atténuation sonore & estimation des densités

Figure 3 : Atténuation sonore du chant d'*Allobates chalcopis.*



Allobates chalcopis est une espèce très difficile à capturer. Toute tentative d'estimation de la taille de la population par les techniques traditionnelles de "capture-marquage-recapture" (CMR) est donc vaine.

Afin d'estimer l'abondance - voire la densité - de l'espèce dans les stations inventoriées, une technique envisagée a été de calculer "l'aire de détection" des mâles par leur chant à l'aide de la relation liant l'intensité sonore et la distance.
Nous avons mesuré l'intensité sonore des chants à l'aide d'un sonomètre (application Ipad).
Le bruit de fond (bruissement du vent) a également été mesuré : en moyenne, ce bruit de fond est de 30,5 db au niveau du sol, dans la végétation. Au-dessus de la végétation, le vent maintien souvent un bruit de fond d'intensité supérieur. **Tout son dont l'intensité est inférieure ou égale à 30,5 db n'est donc pas discernable** sur la Montagne Pelée (ni "à l'oreille", ni sur l'analyse des enregistrements).

L'intensité sonore des cris d'*Allobates* a été mesurée à 1 m des mâles chanteurs. Celle-ci varie de 60 à 70 db selon les individus et probablement selon l'orientation du mâle ou sa position dans la végétation.
En théorie, un son qui se propage dans l'air s'atténue de 6 db à chaque doublement de la distance.
Sur la figure 3, on constate que dans la théorie (Courbe théorique), c'est-à-dire sans le filtre de la végétation, le chant d'un mâle porte jusqu'à une distance de 50 m.
Dans la pratique, nos mesures suggèrent une atténuation importante par la végétation. En moyenne, un mâle peut s'entendre jusqu'à une distance de 20 m.
Cependant, dans les fortes pentes, le son moins atténué par la végétation, porte à des distances comprises entre 20 et 50 m.

Dans ces conditions, nous pouvons donner des premières estimations des densités - à l'aide d'enregistreurs positionnés sur les terrains plats (plateau des palmistes). Les densités dans les pentes sont plus difficiles à estimer et la fourchette des valeurs plus large.

En appliquant la formule $A = \pi.r^2$, la "sphère" de détection d'*Allobates chalcopis* en terrain plat couvre une surface de 1256 m^2.
Sur un terrain en pente, cette surface peut atteindre environ le double car les sons provenant du bas portent plus loin.

Sur la station 1, l'activité vocale maximale a été enregistrée le 04 septembre 2012 à 05h35.
Un mâle *Allobates* lance en moyenne 75 cris par minute en période d'activité maximale. Le SM2 a enregistré en moyenne 225 cris par minute dans cette tranche horaire, ce qui donne **une approximation de 3 mâles audibles simultanément par point d'écoute lors du maximum d'activité.** Cela fourni une estimation de **24 mâles par ha** au niveau de la station 1.

Sur la station 2, l'activité vocale maximale a été enregistrée le 04 septembre 2012 à 06h00. Nous obtenons une approximation de 1,6 mâles audibles simultanément lors du maximum d'activité et une estimation de 13 mâles par ha sur la station 2.

A titre indicatif, sur la station 3, l'activité vocale maximale a été enregistrée les 08, 09 et 10 septembre 2012 entre 05h25 et 06h00. Nous obtenons une approximation de 3,6 mâles audibles simultanément lors du maximum d'activité. L'estimation haute est de 28 mâles par ha. Sur la station 4, l'activité vocale maximale a été enregistrée le 08 septembre 2012 à 08h05. Avec une approximation de 3,4 mâles audibles simultanément lors du maximum d'activité, l'estimation est de 26 mâles par ha. Ces valeurs sont probablement surestimées car ces deux stations sont situées en terrain de pente et une fourchette allant de 13 à 28 mâles parait plus plausible.

Ces estimations - entâchées de plusieurs biais - permettent d'estimer une densité de l'ordre de 13 à 28 mâles chanteurs par hectare sur les secteurs favorables de la Montagne Pelée ; soit une estimation très simpliste et préliminaire de 7 000 à 14 000 mâles reproducteurs sur le massif de la Pelée.

Ces valeurs, citées à titre indicatif, ne doivent pas servir de référence dans le cadre d'un suivi à long terme. Nous préconisons d'utiliser l'indice d'activité des mâles (nombre de cris par unité de temps) - et sous réserve d'utiliser des microphones ayant les mêmes spécificités techniques pour limiter les biais de détection - comme estimateur de l'abondance pour un suivi à long terme.

Rythme circadien d'activité vocale des mâles

Figure 4 : Rythme circadien d'activité vocale des mâles *Allobates chalcopis*.
Moyenne du nombre de cris (sur 3 jours = 72 heures) par tranche demi-horaire.
Stations 1 à 4.

Les enregistrements automatiques réalisés pendant 72 heures dans chacune des quatre stations de la Montagne Pelée (Figure 5) fournissent les actogrammes (des diagrammes de l'activité vocale des mâles en fonction de l'heure de la journée) représentés dans les figures 4a à 4d et la figure 6.

Le rythme d'activité montre deux pics. Le premier de 04h00 à 09h00 avec un maximum entre 05h30 et 06h30 ; le second de 16h30 à 18h00 avec un maximum autour de 17h00.
La période de plus forte activité est la tranche horaire de 5h30 à 6h30.

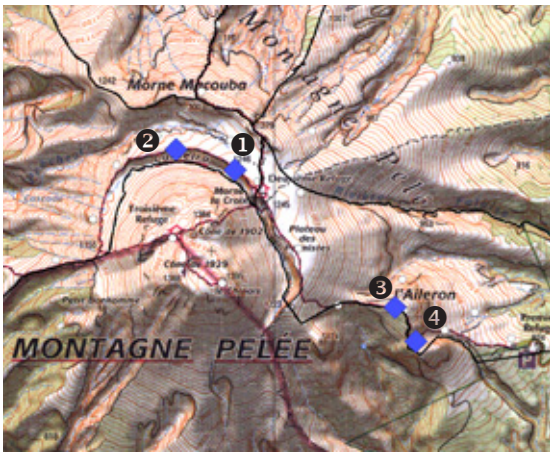


Figure 5 : Localisation des 4 stations d'enregistrement.

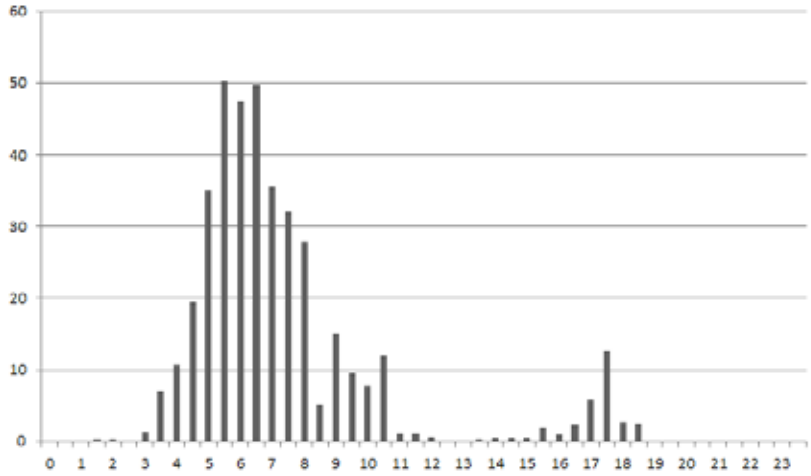


Figure 4a
Station 1 : Nombre de cris d'*Allobates chalcopis* en fonction de l'heure. (moyenne par tranche demi-horaire).

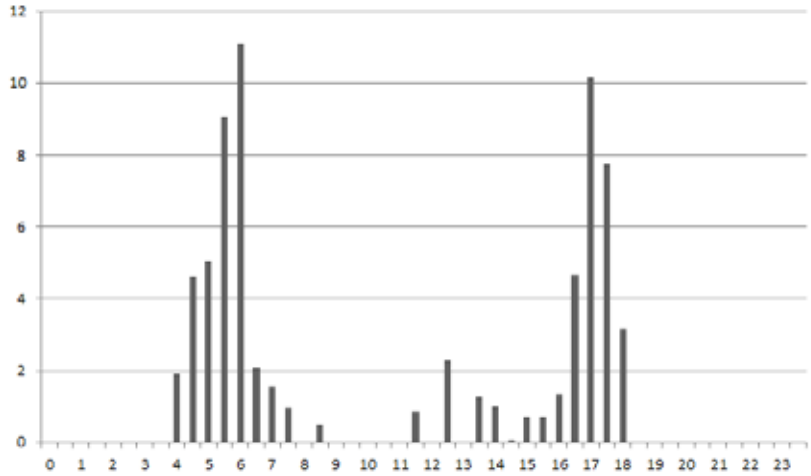


Figure 4b
Station 2 : Nombre de cris d'*Allobates chalcopis* en fonction de l'heure. (moyenne par tranche demi-horaire).

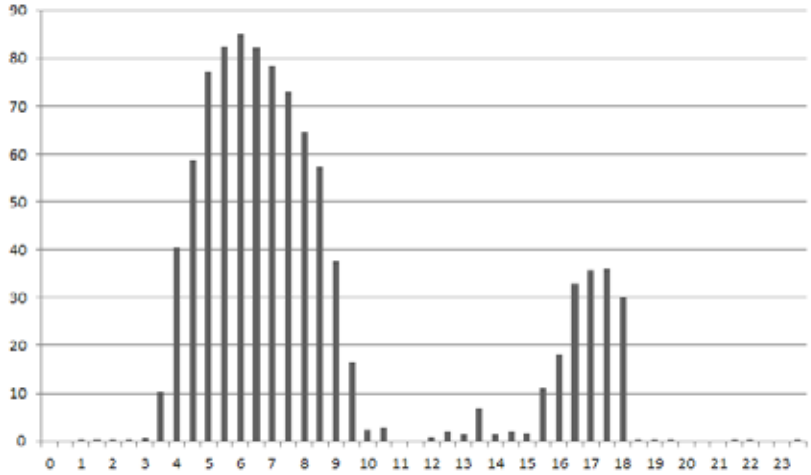


Figure 4c
Station 3 : Nombre de cris d'*Allobates chalcopis* en fonction de l'heure. (moyenne par tranche demi-horaire).

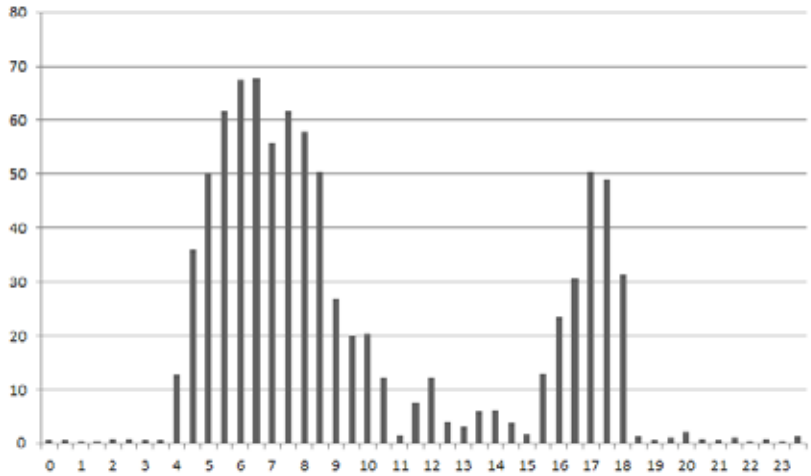
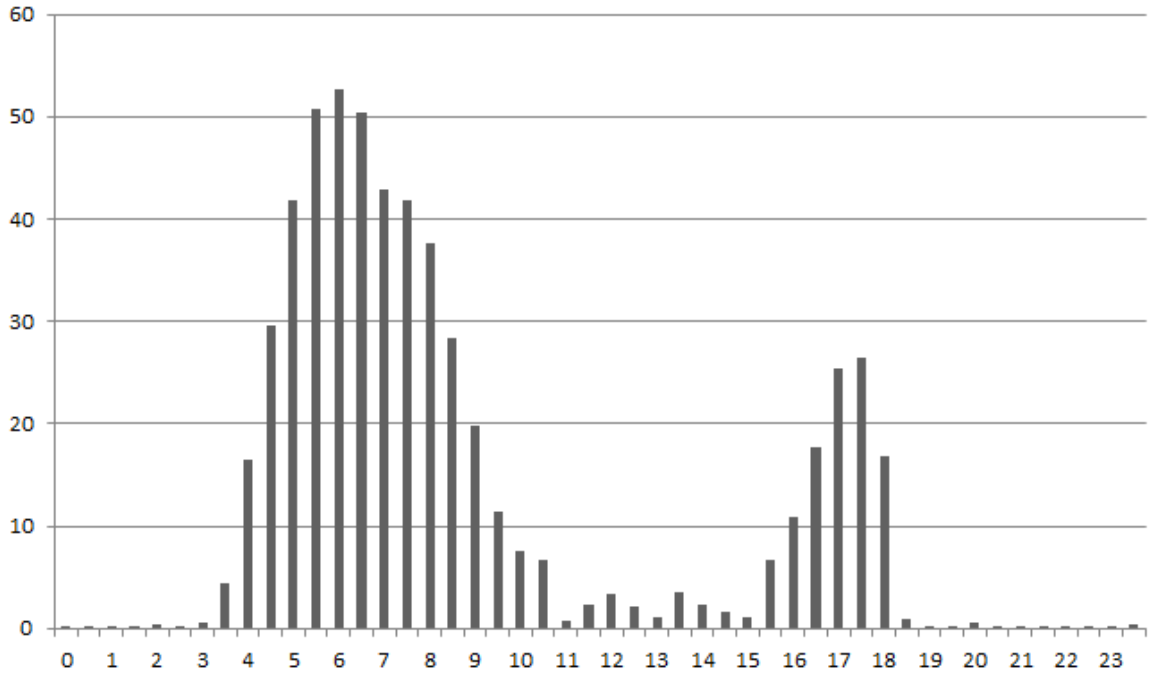


Figure 4d
Station 4 : Nombre de cris d'*Allobates chalcopis* en fonction de l'heure. (moyenne par tranche demi-horaire).

Figure 6 : Rythme circadien d'activité vocale des mâles *Allobates chalcopis*.
Moyenne du nombre de cris par tranche demi-horaire toutes stations confondues.



Déterminisme de l'activité vocale

L'activité vocale des mâles a été analysée en relation avec les variables suivantes : luminosité, température & humidité relative.

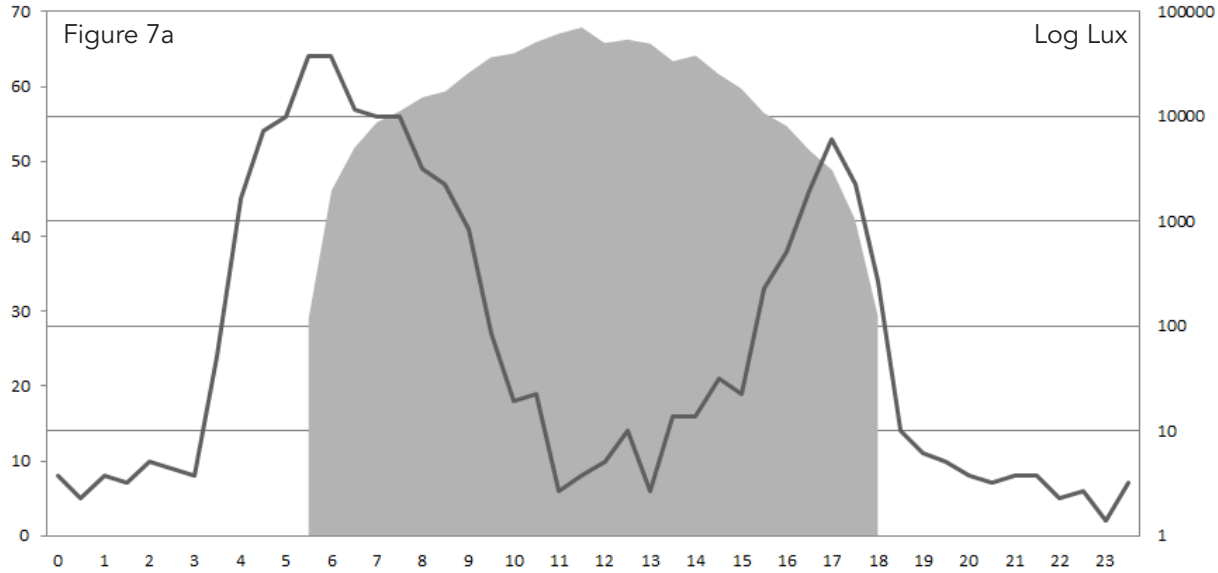
Le stimulus qui déclenche l'activité des mâles en fin de nuit n'est pas liée à ces trois variables. Ainsi, les premiers chants et le pic d'activité matinal ont lieu dans l'obscurité totale de 120 à 90 minutes avant le lever du soleil. Le déterminisme semble être endogène et fait probablement appel à une "horloge biologique".

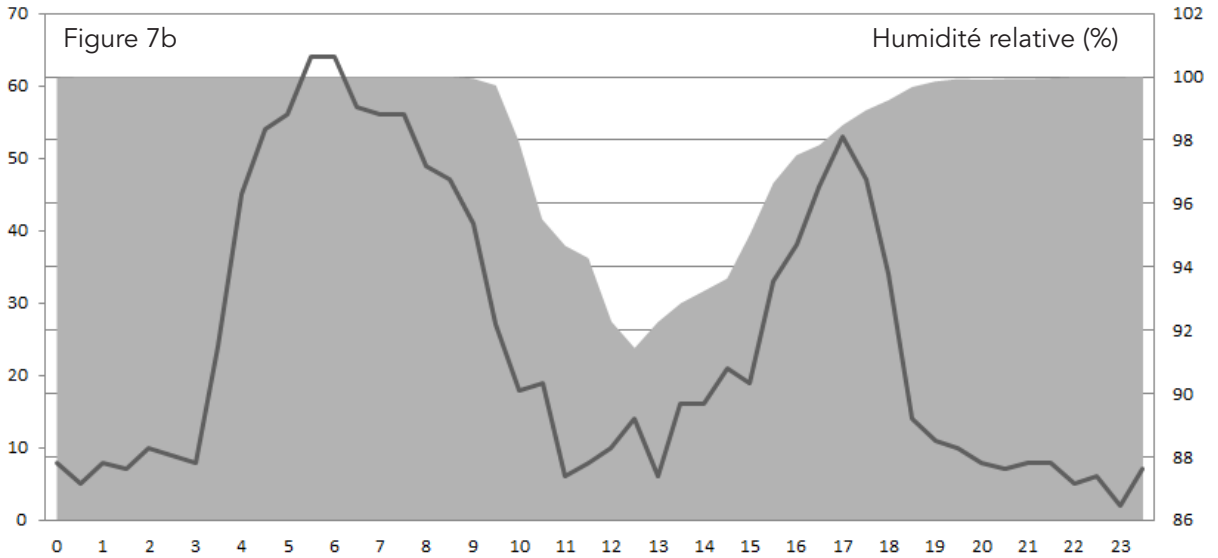
En revanche, le lever du soleil s'accompagne d'une augmentation progressive de la température de l'air. Vers 9h00, la température a augmenté en moyenne de 5°C (de 18 à 23°C) et l'humidité de l'air (alors à saturation) commence à chuter. En milieu de journée, la température moyenne de l'air est de 29°C et l'humidité relative descend à 91%.
L'aube signe la baisse progressive des chants. Une activité vocale minimale se maintient toutefois toute la journée avec des périodes d'excitation entrecoupées de longues pauses. Vers 15h00, la baisse de la température, de la luminosité et l'augmentation de l'humidité relative sont accompagnées d'un regain d'activité. Le deuxième pic a lieu une heure avant la tombée de la nuit. l'activité vocale redescend alors rapidement à un niveau très faible. Quelques chants isolés sont notés tout au long de la nuit.

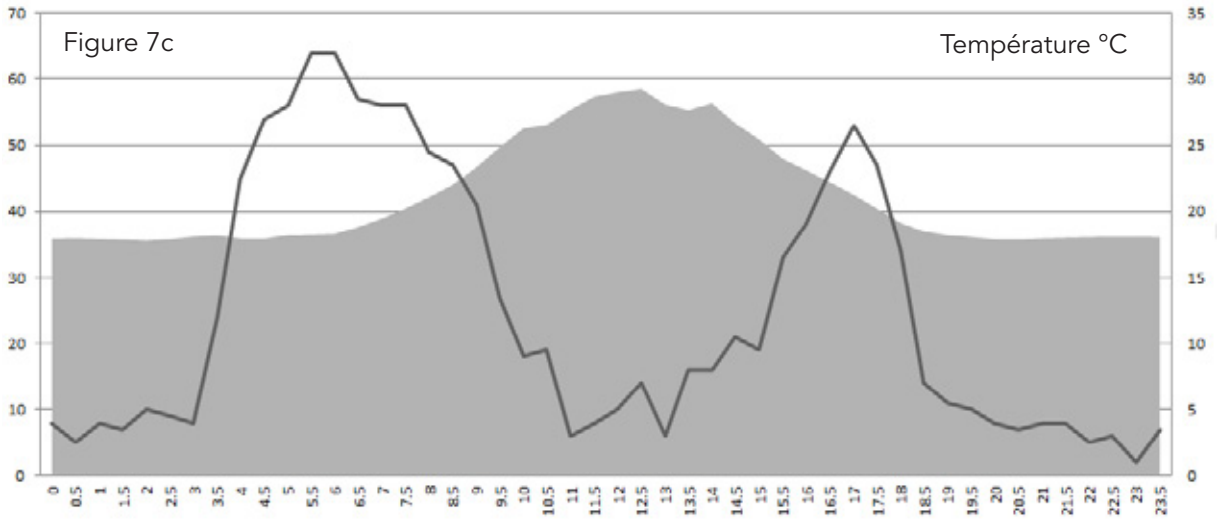
Le déterminisme de l'activité de chant n'est donc pas clairement corrélé à l'une ou l'autre des variables mesurées.
Le regain d'activité vers 3h00 du matin et la montée en puissance jusqu'au lever du jour ne trouvent pas d'explication dans des variations subtiles des trois variables mesurées. En revanche l'arrivée du jour et les variations rapides des paramètres mesurées signent le déclin de l'activité vocale.

La probabilité de détection est maximale entre 5h30 et 6h30 - aux toutes premières lueurs de jour.
Nous suggérons donc un suivi annuel de l'activité par la programmation des enregistreurs dans cette plage horaire.

Figure 7 : Rythme circadien d'activité vocale des mâles *Allobates chalcopis* (nombre de fichiers positifs par tranche demi-horaire, toutes stations) en fonction des variables : 7a - Luminosité ; 7b - Hygrométrie ; 7c - Température







La niche acoustique : compétition pour un espace sonore

Les diagrammes de l'activité vocale des trois espèces syntopiques d'Anoures de la Montagne Pelée - *A. chalcopis, E. johnstonei* & *E. martinicensis* (figures 9, 10, 11 et 12) ont été comparés.
Les deux hylodes présentent un rythme d'activité essentiellement nocturne, mais quelques chants sont lancés sporadiquement dans la journée ; l'Hylode de la Martinique présentant cependant une activité vocale plus soutenue que l'Hylode de Johnston.
Notons l'absence de chants de l'Hylode de Johnston sur les stations 1 & 2, suggérant que l'espèce est absente du sommet de la Montagne Pelée. Sa répartition semble donc s'arrêter entre 1100 et 1200 m d'altitude (le long de l'accès par l'Aileron).
Nb : Dans notre rapport de 2011, nous citions la présence d'*E. johnstonei* sur le plateau des palmistes. Les enregistrements de 2012 contredisent cette information. Nous considérons qu'il y a eu erreur d'identification auditive de notre part en 2011. La colonisation du sommet de la Montagne Pelée par l'Hylode de Johnston est un sujet d'étude qui mérite d'être couplé au suivi des *Allobates*. Cette colonisation peut s'avérer être un bon indicateur des changements climatiques.

La comparaison des actogrammes montre un décallage dans les pics d'activité d'*Allobates* et des hylodes induisant un certain "partage de l'espace sonore".

Au pic d'activité vocale, l'oreille humaine peine à discriminer les chants des différentes espèces. Les sonogrammes des figures 12 à 15 montrent cependant qu'il n'y a pas chevauchement des fréquences dominantes de ces trois espèces. La lecture des sonogrammes permet une identification fiable des trois espèces en syntopie (figure 15).

Précisons que les anoures ont une sensibilité auditive accrue dans les fréquences dominantes émises par les mâles. Dans le brouhaha d'un concert de plusieurs espèces, les individus parviennent à discriminer facilement leurs conspécifiques.

Nous venons d'aborder un des éléments de la niche écologique d'*Allobates chalcopis* : la **niche acoustique**. Les trois espèces syntopiques se partagent l'espace sonore en présentant des rythmes d'activité différents (notamment par un décallage des horaires des pics d'activité) mais également un décallage de la fréquence dominante de leurs cris .

Figure 8 : Rythme circadien d'activité vocale d'*Allobates chalcopis*, *Eleutherodactylus johnstonei* et *E. martinicensis*.

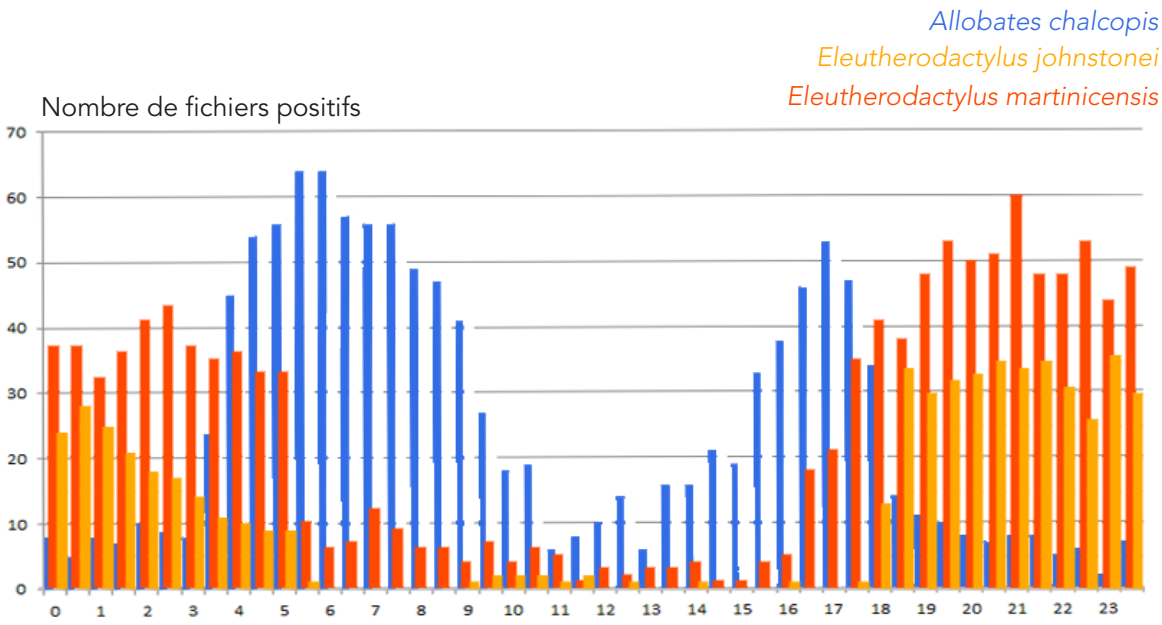


Figure 9 : Rythme circadien d'activité vocale d'*Eleutherodactylus martinicensis*.

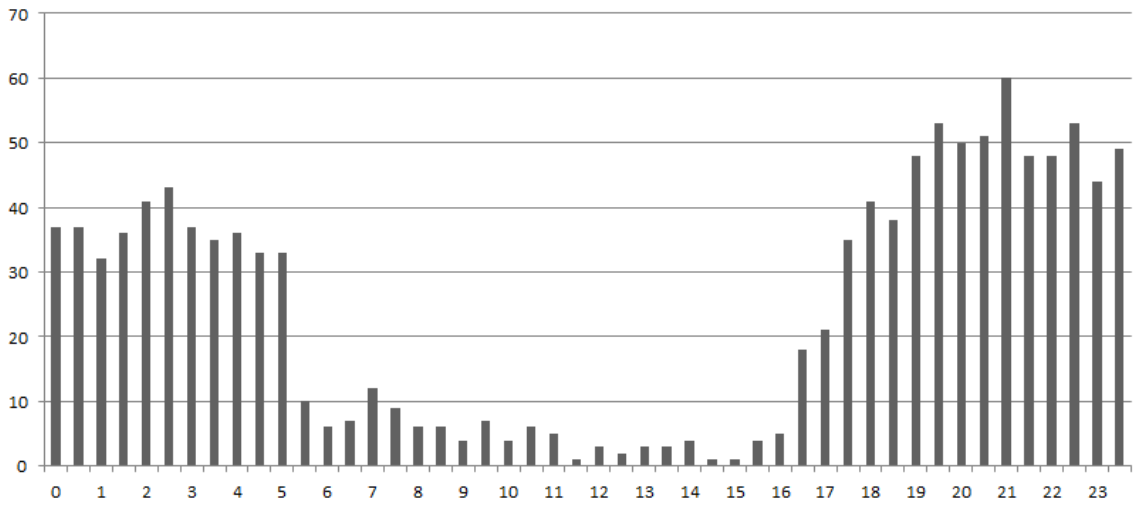


Figure 10 : Rythme circadien d'activité vocale d'*Eleutherodactylus johnstonei*.

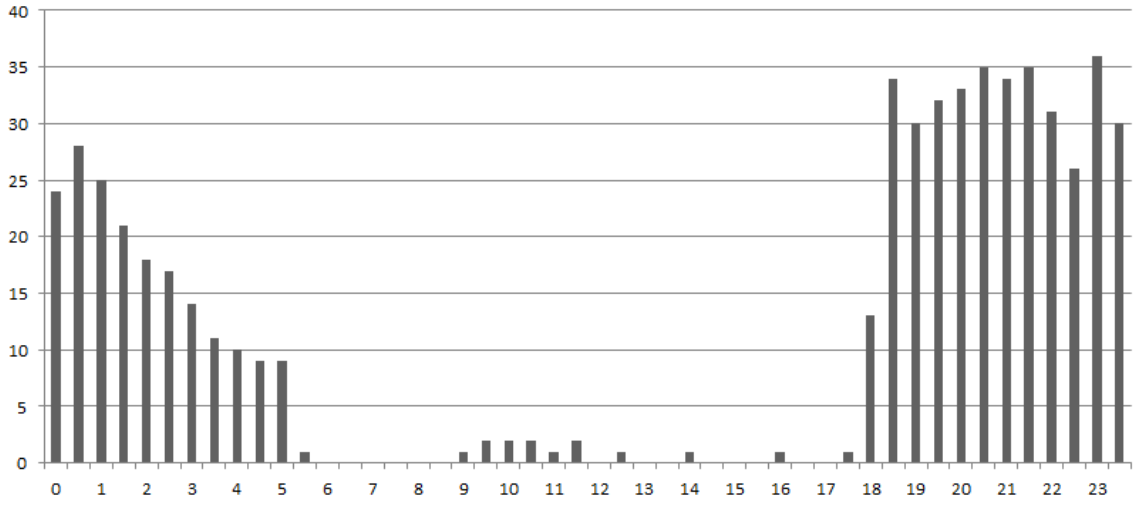
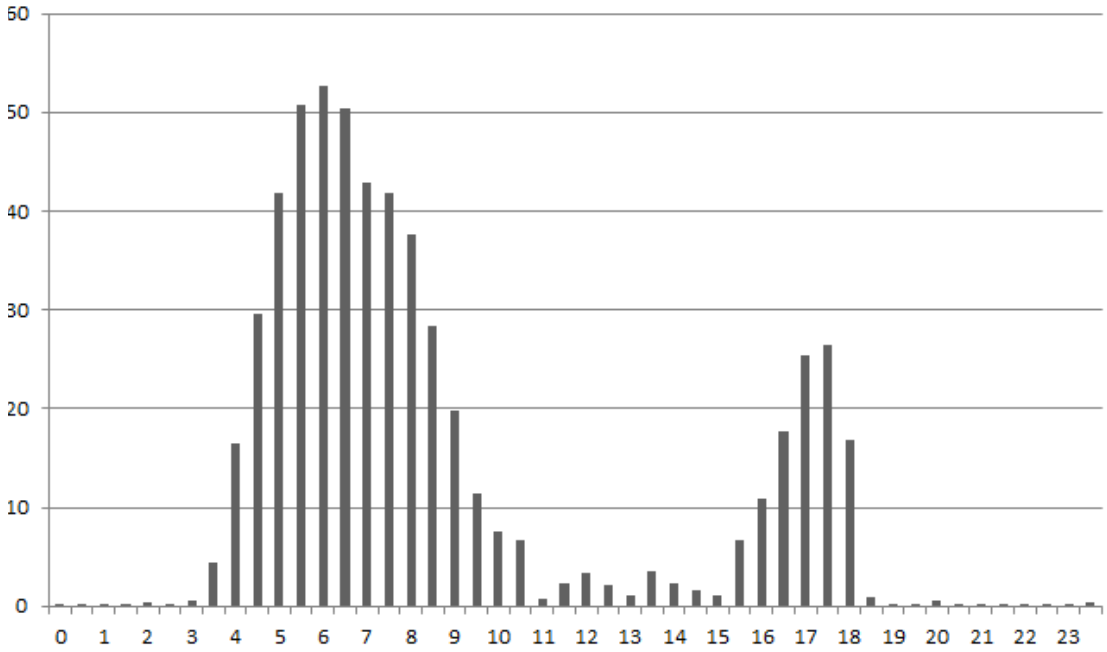


Figure 11 : Rythme circadien d'activité vocale d'*Allobates chalcopis*



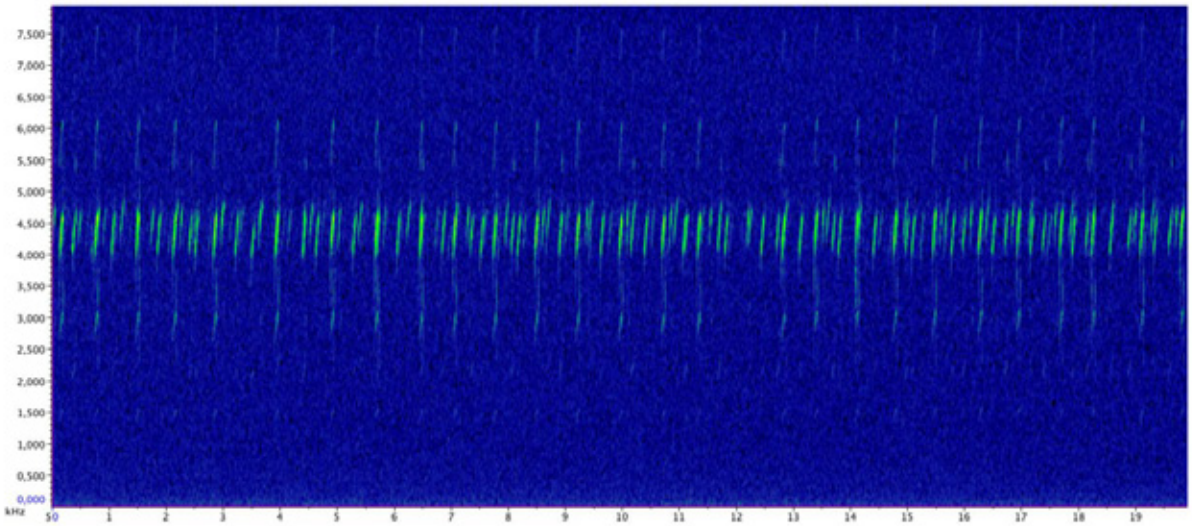


Figure 12 : Séquence de cris d'*Allobates chalcopis*. La gamme de fréquence est centrée sur 4,300 KHz. (Logiciel Raven)

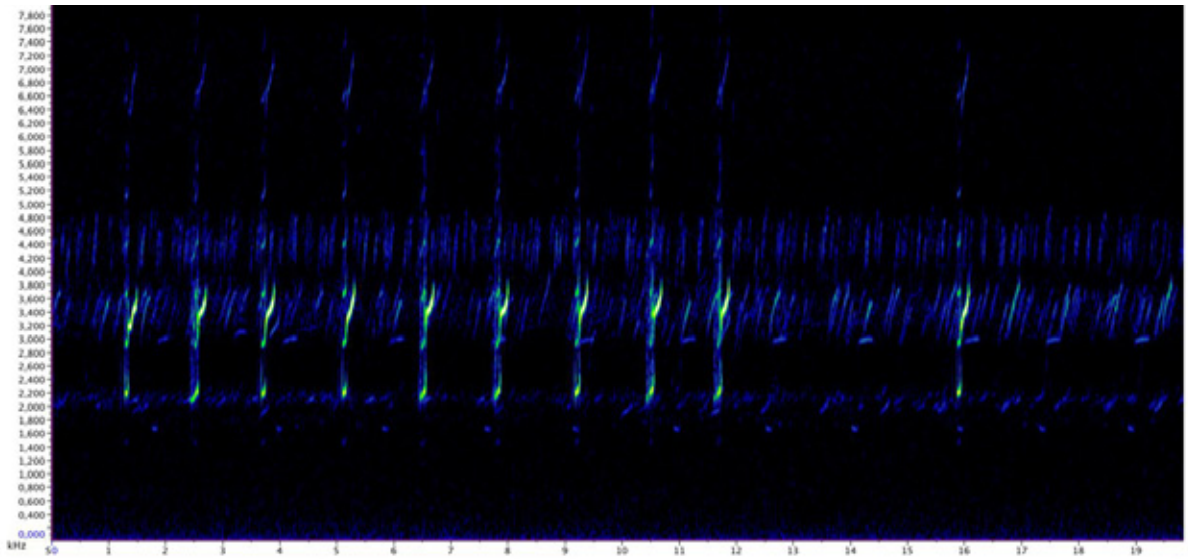


Figure 13 : Séquence de cris d'*Eleutherodactylus martinicensis*. La gamme de fréquence de la deuxième note est centrée sur 3,400 KHz. (Logiciel Raven)

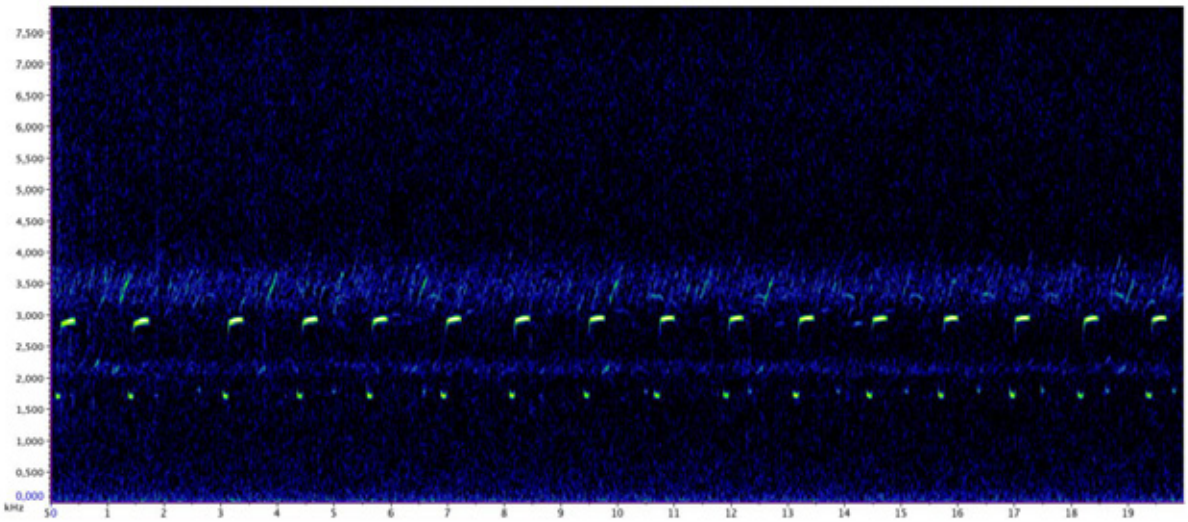


Figure 14 : Séquence de cris d'*Eleutherodactylus johnstonei*. La fréquence de la deuxième note est centrée sur 2,900 KHz. (Logiciel Raven)

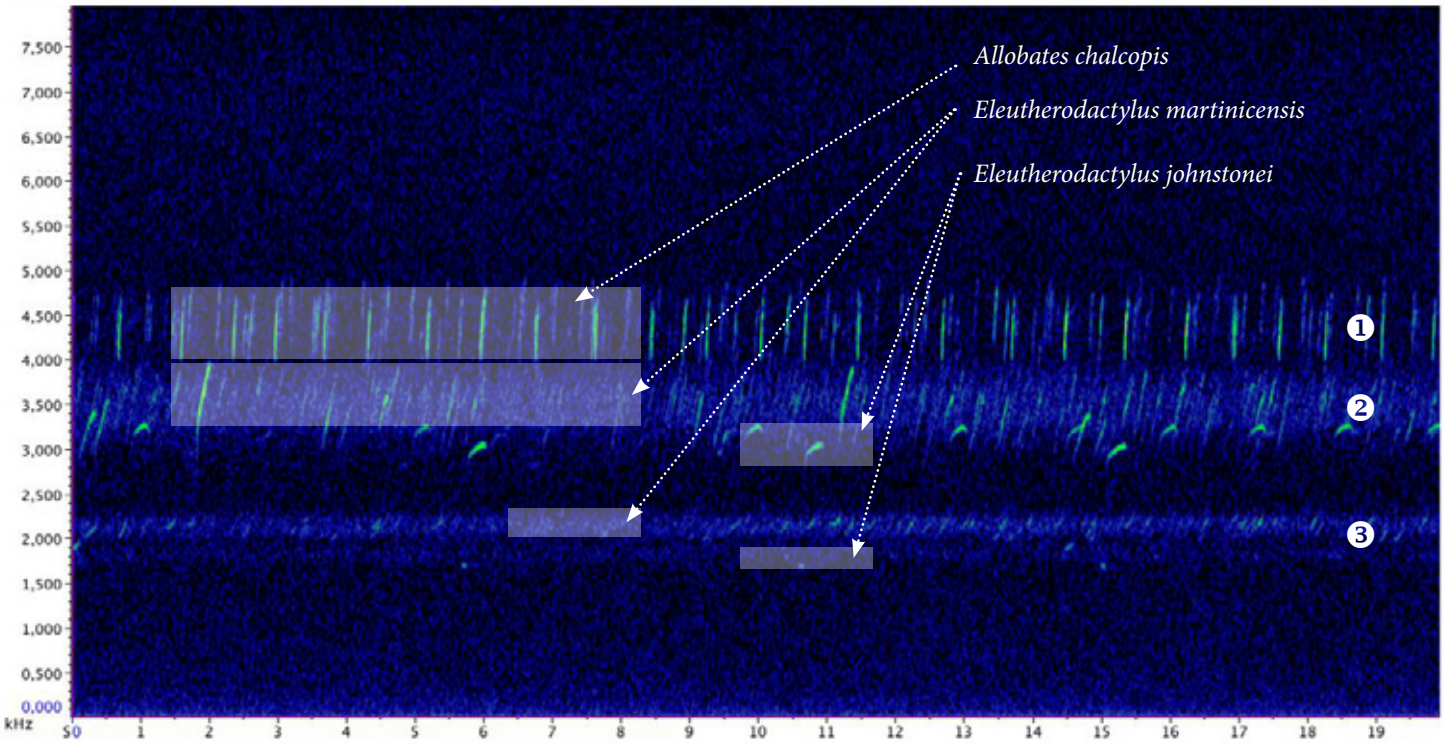


Figure 15 : Enregistrement d'une station présentant les trois espèces de la Montagne Pelée en syntopie.
Dans cette configuration, les trois espèces vocalisent simultanément. On distingue nettement trois "bandes claires" correspondant au bruit de fond produit par la somme des individus de chaque espèce.
La bande supérieure ❶ correspond à *Allobates chalcopis* ;
la bande intermédiaire ❷ à la deuxième note du cri des deux hylodes - on peut d'ailleurs identifier aisément les deux espèces à la forme du sonogramme ;
la bande inférieure ❸ correspond à la première note du chant des hylodes. Elle se présente sous la forme de deux bandes superposées : en haut, *E. martinicensis*, en bas *E. johnstonei.*
Ce schéma illustre la ségregation des trois espèces dans l'espace sonore. Cette ségregation est mise à profit par le logiciel Sonochiro® dans le traitement automatisé des fichiers sons.

Conclusions

La mission de septembre 2012 a permis de dégager les éléments essentiels de la **niche écologique** d'*Allobates chalcopis*.

Les variables qui semblent contribuer le plus à expliquer la répartition d'Allobates chalcopis sont une **amplitude thermique moyenne supérieure à 7,1° C** et une **quantité de précipitations du mois le plus sec supérieure à 200 mm.**
Les données de l'Aileron - station la plus basse connue - pour la période 2000-2010 montent un pluviométrie de 208 mm en février (Source Météo France). A contrario, les données d'Ajoupa-Bouillon (338 m d'altitude) donnent une moyenne de 171 mm (février) et 181 mm (mars) (moy. 1985-2010) de pluviométrie pour les mois les plus secs.

Ces deux variables sont liées à l'altitude et à la capacité des massifs montagneux à piéger les nuages - particulièrement en saison sèche. L'hygrométrie élevée de l'air constitue sans aucun doute une autre variable explicative, mais les données font défaut. *Allobates chalcopis* est donc intimement liée à la végétation altimontaine qui se développe au-dessus de 800 m d'altitude sous les conditions bioclimatiques évoquées plus haut.
Ces exigences écologiques la maintiennent dans des territoires restreints sur le sommet de la **Montagne Pelée** et les **crêtes et sommets des Pitons du Carbet** (Pitons Lacroix, Piton Dumauzé, Morne Piquet, Piton Bouchet).
Bien que sa répartition mérite d'être finement étudiée, les premiers éléments permettent d'établir une aire de répartition globale très restreinte de l'ordre de 7 km^2, scindée en deux noyaux isolés de 5 et 2 km^2.

Par ailleurs, nous avons établi le rythme d'activité circadien pour la période allant du 4 septembre au 10 septembre 2012.
Le rythme d'activité montre deux pics. Le premier de 04h00 à 09h00 avec un maximum entre 05h30 et 06h30 ; le second de 16h30 à 18h00 avec un maximum autour de 17h00.
La période de plus forte activité est la tranche horaire de 5h30 à 6h30. La probabilité de détection est donc maximale aux toutes premières lueurs de jour.

Préconisations pour un plan d'actions régional

Même si de nombreux pans de l'écologie d'*Allobates chalcopis* demeurent inconnus, nous disposons maintenant des éléments de base pour établir un plan d'actions régional consacré au suivi dans le temps de l'évolution de ses populations.

Allobates chalcopis est une espèce endémique stricte à deux zones montagneuses de la Martinique. Ses deux populations, isolées et très restreintes, sont largement menacées par les changements climatiques. Nos données suggèrent une contraction drastique de l'aire de répartition en une vingtaine d'années. Nous prévoyons, sur la base des prévisions du GIEC - mais cet aspect va faire l'objet de modélisations formelles - un déclin continu des populations. Le risque d'extinction étant, selon nous, extrêmement élevé dans les prochaines décennies. L'enjeu de conservation mérite la mise en oeuvre d'un plan régional d'actions associant le gestionnaire des terrains où subsiste l'espèce (ONF) et des prestataires techniques et scientifiques, le tout coordonné par la DEAL Martinique.

Dans un premier temps, nous préconisons la mise en place d'un réseau d'enregistreurs automatiques visant à délimiter précisément la répartition de l'espèce dans les deux massifs. Ces enregistreurs pourront être disposés sur une période d'une semaine (saison des pluies) dans les deux massifs, sur les stations basses et hautes et sur la localité type à 500 m d'altitude.
Dans un second temps, ils seront redéployés sur des stations permanentes pour un suivi à long terme.

En filigrane de ce suivi d'une espèce emblématique, se dessine la mise en place d'un observatoire des changements climatiques. *Allobates* en est l'un des indicateurs, mais la dynamique des populations des autres espèces sera également très informative (hylodes, orthoptères).
Il est donc recommandé d'adosser à ces stations des capteurs de température et d'hygrométrie - voire de pluviométrie - afin de disposer de variables bioclimatiques informatives.
Enfin, dans l'hypothèse d'un déclin conduisant à l'extinction dans la nature, il peut être judicieux de mener des études spécifiques sur la biologie de l'espèce (sites de ponte, soins aux jeunes, nombre d'oeufs, régime alimentaire, etc.).
La difficulté d'observer des spécimens - et de les capturer - a été largement évoquée. Il s'agit donc d'études longues qui pourraient être assurées pro parte par un ou des étudiants (dans le cadre d'un master 2, par exemple), mais qui nécessiteront un encadrement technique sur le terrain.
En situation extrême, ces données pourront être mises à profit pour un programme de conservation *ex situ*, comme cela a été le cas pour *Leptodactylus falax*.

Localisation d'un mâle en octobre 2011.
J. Mailles / DEAL

Petite espèce mais grand enjeu.
M. Dewynter / Biotope