

## **Spatio-temporalité de l'émission de «long calls» du tamarin-lion à croupe dorée (Leontopithecus chrysopygus) : Une application de l'utilisation des capteurs acoustique**

**Auteur :** Jeanbaptiste, Eva

**Promoteur(s) :** Culot, Laurence; Brotcorne, Fany

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2021-2022

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/16158>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

**SPATIO-TEMPORALITÉ DE L'ÉMISSION DE « LONG  
CALLS » DU TAMARIN-LION À CROUPE DORÉE  
(*LEONTOPITHECUS CHRYSOPYGUS*) :  
UNE APPLICATION DE L'UTILISATION DES  
CAPTEURS ACOUSTIQUES**

**EVA JEANBAPTISTE**

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022**

**CO-PROMOTRICES: CULOT L. (UNESP) & BROTCORNE F. (ULIÈGE)**





Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

**SPATIO-TEMPORALITÉ DE L'ÉMISSION DE « LONG  
CALLS » DU TAMARIN-LION À CROUPE DORÉE  
(*LEONTOPITHECUS CHRYSOPYGUS*) :  
UNE APPLICATION DE L'UTILISATION DES  
CAPTEURS ACOUSTIQUES**

**EVA JEANBAPTISTE**

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022**

**CO-PROMOTRICES: CULOT L. (UNESP) & BROTCORNE F. (ULIÈGE)**

## REMERCIEMENTS

Je souhaiterais dans un premier temps remercier mes deux co-promotrices, Laurence Culot et Fany Brotcorne, pour avoir accepté de prendre en charge mon suivi malgré leurs plannings très chargés, et de m'avoir prodigué de précieux conseils tout au long de ce travail, et ce dans un climat toujours accueillant.

J'adresse en particulier toute ma reconnaissance à Laurence Culot, qui m'a proposé un sujet répondant pleinement à mes attentes, et qui m'a fait rentrer dans le monde passionnant de la primatologie, ainsi que dans la cellule privilégiée d'étude de l'adorable « mico-leão-preto ». Je vous adresse mes sincères remerciements pour votre accompagnement tout au long de ce travail ainsi qu'au long de mon séjour au Brésil, et pour votre disponibilité et gentillesse constante.

Je tiens ensuite à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ce travail et mon expérience au Brésil :

- Felipe Bufalo, Rodrigo Amaral et Luis Lopez pour leur aide précieuse sur le terrain
- Fred Mazziere pour son expertise en botanique et son accompagnement plus que jovial sur le terrain
- Nelly et sa famille pour leur accueil chaleureux lors des phases de terrain, ainsi que leur indulgence quant à mon niveau de portugais
- Le LEEC pour le prêt des enregistreurs et plus particulièrement Rafael Souza pour le soutien technique
- Olivier Kaisin pour avoir gentiment accepté de me prêter ses magnifiques photos de tamarin-lion à croupe dorée pour l'illustration de mon travail
- Pauline Hicter pour nos nombreux échanges et le soutien mutuel au cours de tout le processus
- Toutes les personnes rencontrées à Rio Claro et qui m'ont partagé leur expérience brésilienne : Carina, Hector, Aline, Wolf, Ana, Liana, Juliana, Romano, Robert, Juliano, Pedro et tout le LaP
- Le programme Erasmus pour leur financement qui m'a permis de vivre cette expérience plus qu'enrichissante

Enfin, je tiens à témoigner ma gratitude à ma famille pour leur soutien sans faille et tout particulièrement à Arthur pour ses encouragements et sa présence à mes côtés depuis mon arrivée à Gembloux.

## RÉSUMÉ

Réservoir de biodiversité, la forêt atlantique subit pourtant une pression continue depuis l'arrivée des premiers Européens sur le continent. Avec seulement 28 % du couvert originel, elle se retrouve aujourd'hui morcelée en un quart de millions de fragments. Le tamarin-lion à croupe dorée (*Leontopithecus chrysopygus*) fait partie des espèces endémiques et menacées, dont la majorité de ses populations se retrouvent isolées au sein de ces vestiges forestiers. Dans ces fragments où les ressources peuvent être limitées, il est essentiel de comprendre comment les groupes de tamarins-lions utilisent et divisent l'espace disponible. Caractérisé comme une espèce territoriale, le tamarin-lion à croupe dorée émet des « long calls », vocalisations dont une des fonctions principales est la défense de son territoire. L'utilisation de capteurs acoustiques peut ainsi s'avérer être un outil efficace pour étudier la spatio-temporalité de l'émission de ces « long calls » et mieux comprendre les comportements de territorialité de l'espèce.

Ainsi, les objectifs de cette étude sont de déterminer (1) la distribution temporelle et spatiale de l'émission de « long calls » et (2) l'effet de la structure de la forêt et des ressources alimentaires sur l'occurrence de « long calls ». Dans un fragment de 100 hectares situé à Guarei (São Paulo), et contenant 3 groupes de tamarins-lions à croupe dorée, un total de 45 capteurs acoustiques a été installé afin d'y enregistrer les « long calls » émis durant 14 jours. Autour de chaque capteur, une parcelle de végétation de 10 sur 30 m a été créée et un inventaire floristique y a été mené.

Le plus grand nombre de « long calls » a été émis durant l'après-midi, et ce en majorité aux frontières des domaines vitaux. Par contre, les résultats contrastent en fonction des groupes. Deux groupes semblent en effet avoir initié davantage de « long calls » et d'interactions, en comparaison du troisième. La fréquence de « long calls » augmente significativement avec le diamètre des arbres, mais montre des tendances contrastées avec la densité de tiges, la couverture ainsi que le nombre de connexions de canopée, et le volume occupé par les lianes. La présence d'arbres fruitiers et de lianes est négativement corrélée au nombre de « long calls ».

Les résultats montrent que les tamarins-lions à croupe dorée semblent défendre les zones de leur territoire en fonction de la structure de la forêt et de la disponibilité des ressources. Néanmoins, il serait nécessaire de confirmer ces résultats dans d'autres sites et de tester le possible effet de la saisonnalité sur l'émission des « long calls ». Enfin, cette étude témoigne d'une grande hétérogénéité spatiale de l'émission de « long calls » qui semble aussi être en lien avec le groupe. Une étude plus approfondie serait donc nécessaire pour mieux comprendre ces différences intergroupes. L'utilisation de capteurs acoustique s'étant révélée particulièrement adaptée aux exigences de l'étude, ceux-ci pourraient faire l'objet de bien d'autres applications dans l'étude des vocalisations des tamarins-lions ou plus généralement des primates.

Mots-clés : tamarin-lion, *Leontopithecus chrysopygus*, vocalisations, long call, territorialité, forêt atlantique, bioacoustique

## ABSTRACT

While considered as a great reserve of biodiversity, the Atlantic forest has nevertheless suffered from constant pressure since the arrival of the first Europeans on the continent. Today, only 28 % of the original cover remains and the forest is now shattered into a quarter of a million fragments. The black lion tamarin (*Leontopithecus chrysopygus*) is one of the endemic and threatened species of the Atlantic Forest, of which the majority of its populations remains isolated within these forest remnants. In these fragments where resources may be limited, it is essential to understand how lion tamarin groups use and divide the available space. Characterized as a territorial species, the black lion tamarin emits long calls, vocalizations which one of the main functions is related to the territory defence. The use of autonomous recording units (ARU) can therefore be an effective tool to study the spatio-temporality of these long call emissions in order to have a better understanding of the species territorial behaviour.

The objectives of this study are to determine (1) the temporal and spatial distribution of long call emissions (2) the effect of forest structure and food resources on long call frequency. In a 100-hectare fragment located in Guareí (São Paulo), containing three groups of black lion tamarins, a total of 45 ARUs were deployed to record long calls for 14 days. Around each recorder, a 10 x 30 m vegetation plot was set and a floristic inventory was conducted.

The highest number of long calls was recorded in the afternoon, mostly at the home range borders. However, the results differed between groups. Two groups seemed to have initiated more long calls and intergroup interactions, in comparison to the third one. The number of long calls increased significantly with tree diameter but showed contrasting trends with tree density, canopy cover, number of canopy connections and volume occupied by lianas. The presence of fruit trees and lianas is negatively correlated with the number of long calls.

The results suggest that black lion tamarins seem to defend their territory areas according to the forest structure and the availability of resources. However, it would be necessary to confirm these results in other locations and to test the potential effect of seasonality on long call emission. Finally, the study shows a high spatial heterogeneity of long call emission, which also seems to be related to the group. A more detailed study would therefore be necessary to better understand these intergroup variations. The use of passive acoustic monitoring was particularly successful in this study, and could have many other applications in the analysis of lion tamarin vocalizations or more generally in primates.

Keywords : lion tamarin, *Leontopithecus chrysopygus*, vocalizations, long call, territoriality, Atlantic Forest, passive acoustic monitoring

# TABLE DES MATIÈRES

|  |    |
|--|----|
| INTRODUCTION.....  | 1  |
| I. Contexte général .....  | 1  |
| II. La forêt atlantique .....  | 2  |
| III. Le tamarin-lion à croupe dorée.....                               | 3  |
| 1. Distribution et statut de conservation.....                         | 4  |
| 2. Comportement et écologie .....                                      | 5  |
| 3. Concept de territorialité.....                                      | 6  |
| 3.1. Chevauchement entre domaines vitaux.....                          | 7  |
| 3.2. Communication intergroupe.....                                    | 7  |
| IV. Suivi par bioacoustique.....                                       | 9  |
| V. Objectifs.....  | 11 |
| MATÉRIEL ET MÉTHODE.....   | 13 |
| I. Site d'étude .....  | 13 |
| II. Groupes d'étude .....  | 14 |
| III. Acquisition des données.....                                      | 15 |
| 1. Stratégie d'échantillonnage.....                                    | 15 |
| 2. Récolte des données acoustiques.....                                | 17 |
| 2.1. Modèle utilisé et paramétrage .....                               | 17 |
| 2.2. Installation et récupération des ARUs .....                       | 17 |
| 3. Récoltes des données de végétation .....                            | 18 |
| IV. Analyse des données .....  | 20 |
| 1. Analyse des données acoustiques.....                                | 20 |
| 1.1. Détection des « long calls » .....                                | 20 |
| 1.2. Analyse spatio-temporelle .....                                   | 21 |
| 2. Relation entre « long calls » et caractéristiques écologiques ..... | 21 |
| 2.1. Préparation des données.....                                      | 21 |
| 2.2. Analyses statistiques .....                                       | 23 |

|   |    |
|---|----|
| RÉSULTATS.....  | 24 |
| I. Données acoustiques.....   | 24 |
| 1. Détection des « long calls ».....                                    | 24 |
| 2. Analyse temporelle.....  | 26 |
| 3. Analyse spatiale.....  | 26 |
| 4. Analyse spatio-temporelle.....                                       | 27 |
| 4.1. Description générale.....  | 27 |
| 4.2. Inférences sur l'identification des groupes.....                   | 29 |
| 4.3. Description de possibles interactions intergroupes.....            | 31 |
| II. Caractérisation de la végétation.....                               | 36 |
| III. Relation entre « long calls » et caractéristiques écologiques..... | 38 |
| 1. Effets de la structure de la forêt.....                              | 38 |
| 2. Effets des ressources alimentaires.....                              | 40 |
| DISCUSSION.....   | 42 |
| CONCLUSION.....   | 50 |
| BIBLIOGRAPHIE.....  | 51 |

## TABLE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure 1 :</b> Localisation de la forêt atlantique sur la côte est du Brésil. La couleur verte claire représente son étendue originelle tandis les vestiges forestiers apparaissent en vert foncé (Ally B. & IPCI-Canada).....  | 2  |
| <b>Figure 2 :</b> Tamarin-lion à croupe dorée ( <i>Leontopithecus chrysopygus</i> ) (Olivier Kaisin). .....  | 3  |
| <b>Figure 3 :</b> Zone de distribution du tamarin-lion à croupe dorée au sein de l'état de São Paulo. Elle est limitée par la rivière Parana, les fleuves Paranapanema et Tietê ainsi que par la chaîne de montagnes de la Serra de Paranapiacaba (Serra do Mar) (UICN).....   | 4  |
| <b>Figure 4 :</b> Distribution des 9 emplacements où se retrouvent les populations de tamarin-lion à croupe dorée au sein de l'état de São Paulo. Le vert foncé représente les zones de forêt tandis que le rouge représente les fragments contenant une ou plusieurs populations de tamarins-lions à croupe dorée. ....   | 4  |
| <b>Figure 5 :</b> Illustration d'un « long call » à une phrase du tamarin-lion à croupe doré, à partir du logiciel Raven Pro.....  | 8  |
| <b>Figure 6 :</b> Situation géographique et occupation du sol dans la zone du fragment forestier de Guarei. Le fragment est entouré en majorité de plantations en canne à sucre, de pâturages et en moindre quantité de plantations d'eucalyptus. De minces bras de forêt relient le fragment à d'autres morceaux de fragments forestiers. ....  | 13 |
| <b>Figure 7 :</b> Estimation du domaine vital des groupes GC01 et GC02 au sein du fragment forestier de Guarei (LaP – UNESP). La couleur brun clair-orange se rapporte au groupe GC02 tandis que la couleur mauve représente le groupe GC01. Les couleurs plus foncées accentuent les zones noyaux (50 %) tandis que les couleurs les plus claires se rapportent au reste du domaine vital (95 %). Les zones de chevauchements sont également marquées. .... | 14 |
| <b>Figure 8 :</b> Illustration de la phase pilote à Buri, durant laquelle 16 « long calls » ont été enregistrés par 10 enregistreurs placés à 25 m les uns des autres en ligne droite.....   | 15 |
| <b>Figure 9 :</b> Distribution des anciennes (en jaune) et nouvelles parcelles (en blanc) au sein du fragment de Guarei. ....  | 16 |
| <b>Figure 10 :</b> Distribution des enregistreurs, placés au sein d'anciennes (en jaune) ou de nouvelles parcelles (en blanc), et leur rayon de captation des « long calls » égale à 70 m.....   | 16 |
| <b>Figure 11 :</b> Illustration d'un SM3 déployé sur le terrain. ....  | 18 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 12 :</b> Visualisation du spectrogramme et de la table de sélection dans Raven Pro 1.6. Le spectrogramme affiche les sons en fonction de leur fréquence d'émission (kHz) et du temps (s). Chaque rectangle représente une boîte de sélection d'un « long call », ici de 1 à 4. Les informations relatives à chaque « long call » sélectionné sont automatiquement reportées dans la table de sélection en bas à gauche.....   | 20 |
| <b>Figure 13 :</b> Illustration de différents « long calls » ou partie de « long calls », en fonction de la puissance sonore. La puissance minimale se trouve en haut à gauche tandis que la puissance maximale se trouve en bas à droite.....  | 25 |
| <b>Figure 14 :</b> Pourcentage de « long calls » au cours de la journée.....  | 26 |
| <b>Figure 15 :</b> Représentation par kernel de la densité spatiale des « long calls » au sein du fragment. Les numéros identifient les parcelles contenant des « long calls », les autres n'étant pas numérotées.....  | 27 |
| <b>Figure 16 :</b> Total de « long calls » enregistrés au sein des parcelles, au cours de la journée. Les parcelles sont classées en fonction de leur position au sein des différents domaines vitaux (DV) et zones noyaux (Noyau). Les numéros de couleur noire représentent des parcelles situées sur des plateaux tandis que les numéros de couleur orange désignent des parcelles en pente. ....  | 28 |
| <b>Figure 17 :</b> Nombre de « long calls » émis au cours de la journée au sein de la zone de chevauchement des groupes GC02 et GC03, du domaine vital du groupe GC03, et des domaines vitaux des groupes GC01 et GC02, et leur distribution journalière ( $t_1 =$ de 06:00 à 11:59 ; $t_2 =$ de 12:00 à 18:00).....  | 29 |
| <b>Figure 18 :</b> Distribution des « long calls » au sein des parcelles, en fonction de l'heure et du jour, pendant la période d'enregistrement de 14 jours. L'axe x représente les tranches horaires d'une heure, commençant à 06:00 jusque 17:00. Les parcelles sont classées sur l'axe y en fonction de leur position au sein des différents domaines vitaux (DV) et zones noyaux (Noyau). Les numéros de couleur noire représentent des parcelles situées sur des plateaux tandis que les numéros de couleur orange désignent des parcelles en pente. .... | 30 |
| <b>Figure 19 :</b> Illustration de 3 « long calls » de tamarins-lions à croupe dorée par des boîtes de sélections différentes (1, 2 et 3). Émis à quelques secondes d'intervalle, ils peuvent montrer un échange intra- ou intergroupe au même endroit. Le premier « long call » est différent des deux autres, il est donc possible qu'ils aient des fonctions différentes. Les notes égales en forme et en durée se trouvant à une plus haute fréquence représentent des harmoniques de la fréquence fondamentale.....  | 31 |
| <b>Figure 20 :</b> Illustration d'un « long call » bien marqué de réponse à un autre « long call » plus éloigné.....  | 31 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 21</b> : Distribution spatio-temporelle des « long calls » au quatrième jour d'enregistrement. Le graphique de gauche montre le nombre de « long calls » en fonction des parcelles et au cours de la journée. Le graphique de droite représente spatialement ces « long calls » au sein du fragment, en fonction des différentes zones de territoire des groupes GC01 et GC02. .... | 32 |
| <b>Figure 22</b> : Distribution spatio-temporelle des « long calls » au huitième jour d'enregistrement. Le graphique de gauche montre le nombre de « long calls » en fonction des parcelles et au cours de la journée. Le graphique de droite représente spatialement ces « long calls » au sein du fragment, en fonction des différentes zones de territoire des groupes GC01 et GC02. ....  | 33 |
| <b>Figure 23</b> : Distribution spatio-temporelle des « long calls » au neuvième jour d'enregistrement. Le graphique de gauche montre le nombre de « long calls » en fonction des parcelles et au cours de la journée. Le graphique de droite représente spatialement ces « long calls » au sein du fragment, en fonction des différentes zones de territoire des groupes GC01 et GC02. ....  | 34 |
| <b>Figure 24</b> : Spectrogramme de l'enregistrement de la parcelle 42, le neuvième jour de 12:53:52 à 12:54:20, représentant 6 « long calls » de différentes puissances sonores. ....  | 34 |
| <b>Figure 25</b> : Spectrogrammes des enregistrements des parcelles 18 et 42, le neuvième jour de 14:09:12 à 14:09:30, représentant un échange potentiel de « long calls » .....  | 35 |
| <b>Figure 26</b> : Spectrogrammes des enregistrements des parcelles 13 et 42, le neuvième jour de 14:29:07 à 14:29:32, représentant 2 mêmes « long calls » (1 et 2) enregistrés à partir d'enregistreurs différents. ....   | 35 |
| <b>Figure 27</b> : Déterminants écologiques de l'émission de « long calls » par les tamarins-lions à croupe dorée. Les graphiques représentent la relation entre le nombre de « long calls » prédit en fonction du GAM (axes y) et des 5 déterminants écologiques (axes x) qui ont montré une relation significative avec le nombre de « long calls » .....                                   | 39 |
| <b>Figure 28</b> : Déterminants des ressources alimentaires de l'émission de « long calls » par les tamarins-lions à croupe dorée. Les graphiques représentent la relation entre le nombre de « long calls » prédit en fonction du GAM (axes y) et des 4 déterminants alimentaires (axes x) qui ont montré une relation significative avec le nombre de « long calls ». ....                  | 41 |

## TABLE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 1 :</b> Composition des groupes de TLCD au sein du fragment forestier de Guarei.....  | 14 |
| <b>Tableau 2 :</b> Synthèse des variables de caractérisation de la végétation spécifiques à chaque parcelle et disponibles pour les analyses statistiques, après préparation des données. Les variables ont été divisées en 3 groupes, à savoir les variables représentant la richesse spécifique, la structure de la forêt et les ressources alimentaires. Les variables de ressources alimentaires ont également été séparées en ressources permanentes et immédiates, suivant leur disponibilité temporelle.... | 22 |
| <b>Tableau 3 :</b> Nombre de « long calls » (LC), classé par ordre décroissant, détectés dans chacune des 21 parcelles avec présence de LC et chaque enregistreur (ARU), longitude et latitude associées. ....   | 24 |
| <b>Tableau 4 :</b> Caractéristiques spectrales des « long calls » détectés. ....   | 25 |
| <b>Tableau 5 :</b> Proportion des « long calls » (LC) des 3 groupes en fonction de la zone noyau et de la périphérie. Ne connaissant pas précisément le domaine vital du groupe GC03, seule une estimation du nombre de LC émis au sein de son territoire supposé lui a été prêtée.....  | 27 |
| <b>Tableau 6 :</b> Résultats des relevés phénologiques concernant les fruits immatures et matures des arbres fruitiers au sein du fragment. Les espèces consommées par le tamarin-lion à croupe dorée ( <i>Leontopithecus chrysopygus</i> ) en fruit sont minoritaires en comparaison de toutes les espèces confondues.....  | 36 |
| <b>Tableau 7 :</b> Calcul du « Fruit Availability Index » (FAI) en fruits immatures pour chaque arbre fruitier consommé par les tamarins-lions à croupe dorée, en fruit recensé dans chaque parcelle, et par hectare. Seule la parcelle 44 contenait deux individus en fruit.....  | 37 |
| <b>Tableau 8 :</b> Paramètres du modèle GAM concernant les variables de structure, pour prédire le nombre de « long calls ». DBH = moyenne du diamètre à hauteur de poitrine (cm) ; density = densité moyenne (arbres/ha) ; canopy_cover = moyenne de la couverture de canopée (%) ; connections = moyenne du nombre de connexions ; liana_cover = volume moyen occupé par les lianes (%) ; height_first_branch = moyenne de la hauteur de la première branche (m). ....   | 38 |
| <b>Tableau 9 :</b> Paramètres du modèle GAM concernant les variables de ressources alimentaires, pour prédire le nombre de « long calls ». fruit_trees_number = nombre d'arbres fruitiers consommés par les tamarins ; fruit_trees_sp = nombre d'espèces d'arbres fruitiers consommés par les tamarins ; sp_lianas_consumed = nombre d'espèces de lianes consommées par les tamarins = FAI_imm : somme des valeurs de disponibilité en fruits immatures. ....  | 40 |

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

|              |   |
|--------------|---|
| <b>AIC</b>   | Akaike Information Criterion                      |
| <b>ARU</b>   | Autonomous Recording Unit                         |
| <b>DBH</b>   | Diameter at Breast Height                         |
| <b>FAI</b>   | Fruit Availability Index                          |
| <b>GAM</b>   | Generalized Additive Models                       |
| <b>LaP</b>   | Laboratory of Primatology                         |
| <b>LC</b>    | Long call   |
| <b>LEEC</b>  | Laboratório de Ecologia de Espacial e Conservação |
| <b>PAM</b>   | Passive Acoustic Monitoring                       |
| <b>REML</b>  | Restricted Maximum Likelihood                     |
| <b>SM3</b>   | Song Meter 3                                      |
| <b>TLCD</b>  | Tamarin-lion à croupe dorée                       |
| <b>UNESP</b> | Universidade Estadual Paulista                    |
| <b>VIF</b>   | Variance Inflation Factor                         |

# INTRODUCTION

## I. Contexte général

Dans un monde où la dynamique de développement évolue de plus en plus rapidement et touche de plus en plus d'habitats encore intacts, les primates font face à des changements qui nuisent considérablement à leurs chances de survie. L'activité agricole, en particulier, affecte grandement les populations de primates (Estrada et al., 2017). Sur la côte est du Brésil, l'expansion des cultures de cannes à sucre pour la production de bioéthanol est d'ailleurs extrêmement nuisible pour la forêt atlantique brésilienne (Bernard et al., 2011 ; Nasser et al., 2008), aujourd'hui disloquée en un quart de millions de vestiges forestiers (Laurence, 2009). De nombreux fragments se retrouvent entourés de champs de canne à sucre, dans une matrice agricole constituant une barrière très nette entre ces fragments forestiers (Ranta et al., 1998).

En effet, la perte et la fragmentation de l'habitat constituent les principales menaces pour les primates, et affectent certains aspects de leur biologie et de leur écologie (Arroyo-Rodriguez & Mandujano, 2009). Les processus écologiques interdépendants qui régissent une forêt intacte se trouvent systématiquement déconstruits au sein de fragments (Marsh, 2003). Bien que ce phénomène concerne les écosystèmes du monde entier, les forêts tropicales en souffrent particulièrement.

Johns et Skorupa (1987) ont montré qu'il existait une corrélation négative entre la proportion de fruits compris dans le régime alimentaire des primates et leur taux de survie dans les fragments. Ainsi, plus le régime alimentaire d'un primate est spécialisé hautement frugivore, plus il sera menacé dans les fragments de forêts secondaires, contenant globalement moins de fruits (Zanette et al., 2000). Les populations de primates survivants dans ces fragments subissent ainsi davantage de compétition inter- et intraspécifique (Chiarello, 2003).

Le tamarin-lion à croupe dorée (*Leontopithecus chrysopygus*), espèce de petit primate endémique et menacé, survivant dans les fragments de la forêt atlantique de l'état de São Paulo, est directement impacté par ces questions. Étant caractérisé par un régime alimentaire majoritairement frugivore (Valladares-Padua, 1993), ses habitudes de comportement peuvent de ce fait être modifiées par son environnement. Espèce territoriale, il se sert d'appels longue distance ou « long calls » dans sa communication intergroupe pour la défense de son territoire. L'étude des mécanismes régissant la défense territoriale, notamment par les « long calls », pourrait ainsi permettre de mieux comprendre les effets des changements environnementaux sur les tamarins-lions à croupe dorée, et les enjeux auxquels ils sont soumis.

## II. La forêt atlantique

La forêt atlantique (Mata Atlântica) est une bande de forêts tropicales humides qui s'étend le long du littoral brésilien (Figure 1). Elle comprend également le sud-est du Paraguay ainsi que la pointe à l'extrême est de l'Argentine. Il s'agit d'un « hotspot » de biodiversité, comprenant plus de 20 000 espèces de plantes, 261 espèces de mammifères, 688 espèces d'oiseaux (Goerck, 1997), 200 espèces de reptiles et 280 espèces d'amphibiens (Meyers et al., 2020). Le taux d'endémisme y est également élevé, avec 567 espèces endémiques sur un total de 1361 espèces de vertébrés, dont 73 espèces de mammifères, 181 espèces d'oiseaux, 60 espèces de reptiles et 253 espèces d'amphibiens (Myers et al., 2020). Concernant les primates, on y retrouve 26 espèces dont 19 sont endémiques (Culot et al., 2019).



**Figure 1 :** Localisation de la forêt atlantique sur la côte est du Brésil. La couleur verte claire représente son étendue originelle tandis que les vestiges forestiers apparaissent en vert foncé (Ally B. & IPCI-Canada).

Située dans la région la plus peuplée du Brésil, la forêt atlantique a subi des siècles de dégradation et de fragmentation. Elle correspond aujourd'hui au quatrième « hotspot » le plus menacé dans le monde (Meyers et al., 2020). Les estimations disponibles révèlent une couverture végétale actuelle de 28 % (Rezende et al., 2018). Seuls 1 % de la forêt originelle et 9 % de la forêt actuelle sont protégés par des réserves naturelles, tandis que le reste a été majoritairement détruit ou fragmenté en un quart de millions de fragments forestiers (Laurence, 2009). Plus de 80 % de

ces fragments sont minuscules (moins de 50 hectares), isolés (distance moyenne entre les fragments de 1400 m) et vulnérables aux effets de lisière (Ribeiro et al., 2009). La taille, l'isolement et la structure de la végétation des fragments peuvent ainsi sévèrement affecter la persistance des espèces (Uezu & Metzger, 2011), ainsi que la limitation des ressources alimentaires (Zanette et al., 2000). Il n'existe d'ailleurs pratiquement plus aucune grande zone protégée (plus de 1000 km<sup>2</sup>) en dehors de Serra do Mar (Laurence, 2009). Selon Culot et al. (2019), environ 40 % des communautés de primates en forêt atlantique ne contiennent qu'une seule espèce.

### III. Le tamarin-lion à croupe dorée

Ordre : Primates

Sous-ordre : Haplorrhini

Infra-ordre : Simiiformes

Micro-ordre : Platyrrhini

Famille : Callitrichidae

Espèce : *Leontopithecus chrysopygus*



**Figure 2** : Tamarin-lion à croupe dorée (*Leontopithecus chrysopygus*) (Olivier Kaisin).

Le tamarin-lion à croupe dorée (*Leontopithecus chrysopygus*) fait partie de la famille des Callitrichidae, comprenant 8 genres : *Calibella*, *Callimico*, *Callithrix*, *Cebuella*, *Leontocebus*, *Leontopithecus*, *Mico* et *Saguinus* (Rylands et al., 2016 ; Wilson & Reeder, 2005). Cette famille, de 60 espèces et sous-espèces du Nouveau Monde, comprend un large échantillon de primates de petite taille, arboricoles et diurnes, du sud et du centre de l'Amérique (Rylands et al., 2006).

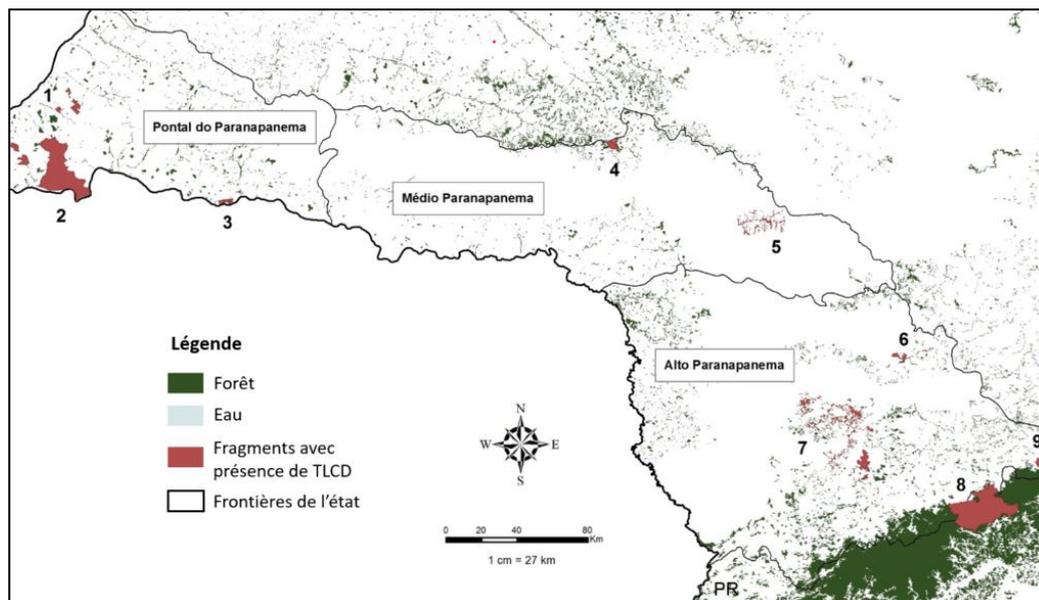
Le genre *Leontopithecus* contient quatre espèces : *L. caissara*, *L. chrysomelas*, *L. chrysopygus* et *L. rosalia* (Rylands, 2012). Ces espèces portent le nom de tamarin-lion étant donné la crinière qui entoure leur face nue. Le tamarin-lion à croupe dorée se distingue physiquement des trois autres espèces notamment par son pelage entièrement noir, à l'exception de sa croupe d'une couleur dorée (Figure 2).

### 1. Distribution et statut de conservation

Le tamarin-lion à croupe dorée (TLCD) est endémique à l'état de São Paulo, au Brésil, et se distribue uniquement au sein de la forêt atlantique. Contrairement aux trois autres espèces du genre qui peuvent apparaître sur la côte atlantique, le TLCD se restreint à l'intérieur des terres. Sa distribution semble être limitée par les fleuves Paranapanema et Tietê ainsi que par la chaîne de montagnes de la Serra de Paranapiacaba, comme le montre les figures 3 et 4 (Hershkovitz, 1977 ; Garbino et al., 2016 ; Mittermeier, 2013).



**Figure 3 :** Zone de distribution du tamarin-lion à croupe dorée au sein de l'état de São Paulo. Elle est limitée par la rivière Parana, les fleuves Paranapanema et Tietê ainsi que par la chaîne de montagnes de la Serra de Paranapiacaba (Serra do Mar) (UICN).



**Figure 4 :** Distribution des 9 emplacements où se retrouvent les populations de tamarin-lion à croupe dorée au sein de l'état de São Paulo. Le vert foncé représente les zones de forêt tandis que le rouge représente les fragments contenant une ou plusieurs populations de tamarins-lions à croupe dorée.

Considérée comme éteinte depuis le début du XX siècle, l'espèce a été redécouverte dans la région de Pontal do Paranapanema à la fin des années 1960 (Coimbra-Filho, 1970). L'espèce était considérée comme « en danger critique d'extinction » jusqu'en 2008 où son niveau de menace a été revu à la baisse (Rezende et al., 2020), grâce à la redécouverte de nouvelles populations ainsi qu'aux efforts de conservation (Culot et al., 2019). Actuellement, l'espèce est toujours inscrite sur la liste rouge de l'UICN comme étant « en danger », notamment en raison de la perte continue de son habitat et des pertes significatives prévues dans les différentes sous-populations (Rezende et al., 2020). Parmi tous les fragments de forêts où l'espèce survit, seule la sous-population du parc National de Morro do Diabo (1200 individus pour 33 845 ha) peut être considérée comme démographiquement et génétiquement viable sur le long terme, les autres sous-populations étant contenues dans des aires de superficie trop faible (en moyenne entre 400 et 600 ha) (Rezende et al., 2020).

## 2. Comportement et écologie

Les tamarins-lions à croupe dorée vivent en groupe de 2 à 8 individus, mais qui se composent en moyenne de 3 à 4 individus (Carvalho & Carvalho, 1989 ; Coimbra-Filho, 1976). Il est commun qu'un groupe soit constitué d'une famille, avec deux adultes et plus d'une génération de jeunes (Kleiman, 1977). Dans le passé, les études s'accordaient pour considérer les tamarins-lions comme des espèces monogames (Carvalho & Carvalho, 1989 ; Kleiman, 1977), avec un dimorphisme sexuel réduit chez les adultes, voire inexistant (Kleiman, 1977). Toutefois, Garber et al. (2016) affirme que la présence d'un seul couple reproducteur au sein d'un groupe n'est pas si courante et que la polyandrie qualifie davantage les tamarins. La naissance de jumeaux apparaît environ deux fois sur trois (Carvalho & Carvalho, 1989). Les deux partenaires prennent soin des jeunes (Kleiman, 1977). Il est courant qu'un individu, essentiellement des mâles, rejoigne un autre groupe ou en crée un nouveau (Carvalho & Carvalho, 1989).

Le domaine vital des TLCD peut varier de 40 à 400 hectares dans les forêts continues (Albernaz, 1997 ; Carvalho & Carvalho, 1989 ; Valladares-Padua, 1993). Leur présence dans des paysages avec une faible couverture forestière, ainsi qu'au sein de petits fragments forestiers, témoigne de leur résilience dans des habitats dégradés (Culot et al., 2015). Ils utilisent des trous d'arbres comme site dortoir mais peuvent également à l'occasion se servir d'enchevêtrements de lianes, de couronnes de palmiers ou de fourrés de bambous (Dietz et al., 1997). Hankerson et al. (2007) rapportent que les trous d'arbres fréquemment utilisés par le tamarin-lion doré (*Leontopithecus rosalia*) étaient plus susceptibles de se trouver dans un arbre vivant, avec un plus grand diamètre et une plus grande couverture de canopée que d'autres trous moins fréquemment utilisés. Le choix des sites dortoirs peut d'ailleurs faire partie de leurs stratégies anti-prédateurs (Day & Elwood, 1999), les principaux prédateurs des primates néotropicaux étant les rapaces, les carnivores et les serpents (Hart, 2007).

Les TLCD se nourrissent principalement de fruits, de petites proies animales ainsi que d'exsudats. Valladares-Padua (1993) a observé un régime de 78.5 % de fruits, 13.5 % de proies animales et 7.8 % d'exsudats dans le parc National de Morro do Diabo tandis que Kaisin et al. (2020) a observé qu'un groupe occupait presque autant de temps à chercher des proies (23.1 %) qu'à se nourrir de fruits (27.4 %) dans le fragment forestier privé de Guarei. Kaisin et al. (2020) a également observé des actes de prédation sur des araignées, grenouilles, chenilles et insectes des ordres Blattoidea, Coleoptera, Orthoptera et Phasmatodea. Les TLCD se nourrissent des fruits d'au moins 53 espèces (Valladares-Padua, 1993). Ils apprécient particulièrement les fruits de la famille des Myrtaceae (63 % des observations) ainsi que les fruits du palmier *Syagrus romanzoffiana* (13 %). Les TLCD peuvent également se nourrir des fruits de lianes et d'épiphytes (6 %) (Valladares-Padua, 1993).

Il est possible que les TLCD se nourrissent de nectar de fleurs lorsque la disponibilité des fruits est plus faible, tout comme *Leontopithecus rosalia* (Dietz et al., 1997). Valladares-Padua (1997) a pu faire cette observation dans la station écologique de Caetetus en 1985. Dans cette même station, Passos (1999) a estimé la consommation de gomme à 55 % du régime alimentaire du TLCD lors de la saison sèche. Selon Albernaz (1997), les TLCD passent la majeure partie du temps (55 %) dans le sous-étage supérieur, entre 4 et 8 mètres de haut, et changent de milieu en fonction du type de nourriture qu'ils recherchent.

### 3. Concept de territorialité

Tout d'abord, il est important de différencier les termes « domaine vital » et « territoire », qui possèdent des significations différentes. Le domaine vital représente la zone, autour d'un lieu de vie, au sein de laquelle un animal se déplace afin d'effectuer ses activités (Burt, 1943). Le domaine vital peut être fixe ou mobile. Le territoire représente une portion du domaine vital qui est protégée par l'animal qui y réside. Ainsi, seuls les animaux protégeant une partie de leur domaine vital, par des comportements agressifs contre d'autres individus de leur espèce, peuvent être considérés comme ayant un territoire (Burt, 1943).

La territorialité apparaît lorsque les ressources sont limitées et défendables, telles que la nourriture ou la reproduction. Le caractère défendable des ressources dépend de la capacité d'un animal à surveiller les limites de son territoire afin de détecter des intrusions potentielles (Mitani & Rodman, 1979). Au sein des primates, les espèces vivant en petits groupes dans la forêt développent davantage un comportement territorial, dû à leur exigence spatiale réduite (Mitani & Rodman, 1979). En effet, un domaine vital restreint le rend davantage défendable. Cependant, les bénéfices retirés de ces ressources doivent être supérieurs aux coûts de la défense de celles-ci (Peres, 1989). Dans les régions Néotropicales, c'est le cas de *Aotus* (Wright, 1978), *Callicebus*

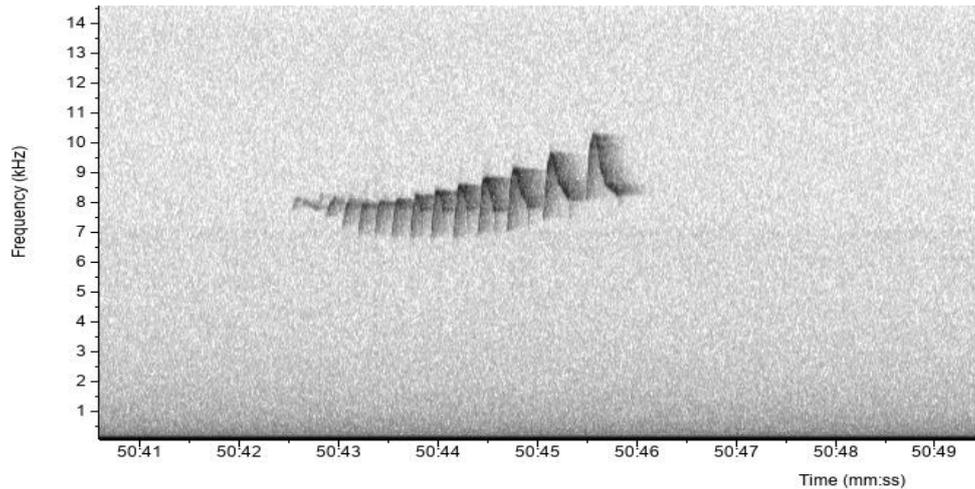
(Robinson, 1979), ainsi que toutes les espèces de la famille des Callitrichidae (Oliveira & Ades, 2004 ; Peres, 1989 ; Snowdon, 1989). Bury (2020) a d'ailleurs démontré que les tamarins-lions à croupe dorée sont en mesure de défendre activement les bordures de leur domaine vital.

### 3.1. Chevauchement entre domaines vitaux

Le degré de chevauchement entre les domaines vitaux de groupes ou d'individus constitue un facteur majeur à prendre en compte dans la stratégie territoriale. Ainsi, au sein des primates, deux stratégies ont été proposées. La première consiste à éviter les zones de chevauchement, zones avec une plus forte probabilité de rencontres intergroupes. C'est le cas du cercopithèque ascagne (*Cercopithecus ascanius*), du sapajou capucin (*Cebus capucinus*) et du chimpanzé (*Pan troglodytes*) (Wrangham et al., 2007). La seconde repose sur une utilisation intense de la périphérie du territoire. Cette stratégie permet d'une part d'augmenter la disponibilité des ressources au centre du domaine vital et d'autre part de minimiser la perte des ressources en faveur des groupes voisins (Peres, 1989). Toujours selon Peres (1989), l'épuisement des ressources en périphérie devrait se produire lorsque les interactions ne suffisent pas à maintenir les groupes voisins à distance. Cette stratégie est utilisée par *Leontopithecus rosalia* (Peres, 1989). Toutefois, l'étude de Bury (2020) a démontré que *Leontopithecus chrysopygus* se nourrissait autant en périphérie qu'au centre du domaine vital, tout comme le groupe suivi n'a pas non plus passé plus de temps à rechercher de la nourriture en périphérie qu'au centre des domaines vitaux.

### 3.2. Communication intergroupe

Les signaux acoustiques représentent une grande part de la communication intergroupe des primates. Au sein des tamarins-lions, les « long calls » (LC) ou appels à longue distance (Figure 5) sont les vocalisations les plus utilisées dans cette communication. Il en existe trois types chez *Leontopithecus rosalia* (Halloy & Kleiman, 1994; McLanahan & Green, 1977) : (1) les « long calls » à une phrase sont employés pour la coordination des mouvements du groupe (Boinsky et al., 1994) ; (2) les « long calls » à deux phrases sont utilisés pour indiquer la présence du groupe au sein de son territoire, avant contact visuel, et également pour la cohésion du groupe, quand un individu est séparé des autres ; tandis que (3) les « long calls » à trois phrases sont émis durant les rencontres intergroupes (Ruiz-Miranda & Kleiman, 2002). Les LC possèdent donc deux fonctions. D'une part, une fonction territoriale, permettant la défense des ressources. Bury (2020) l'a d'ailleurs démontré pour le tamarin-lion à croupe dorée. D'autre part, une fonction intragroupe permettant la coordination spatiale du groupe (Boinsky et al., 1994).



**Figure 5 :** Illustration d'un « long call » à une phrase du tamarin-lion à croupe doré, à partir du logiciel Raven Pro.

La fréquence des « long calls » augmente ainsi lorsque différents groupes approchent l'un de l'autre (Peres, 1989). Une rencontre intergroupe est définie comme un face-à-face visuel entre deux ou plusieurs groupes, caractérisée par de nombreuses agressions et émissions de « long calls », autour d'une frontière imaginaire, dans le but de contester celle-ci (Peres, 1989 ; Sabatini & Ruiz-Miranda, 2008). Les rencontres intergroupes entre tamarins-lions à croupe dorée semblent se produire davantage en périphérie du domaine vital, par rapport au centre (Bury, 2020). Par contre, les groupes suivis par Bury (2020) n'ont pas émis plus de « long calls » en périphérie du domaine vital comme c'était attendu. Ce résultat peut être expliqué par l'utilisation d'une stratégie de défense du domaine vital par des avertissements de l'occupation de l'espace constitués de « long calls » et de marquage, qui aurait lieu dans l'ensemble du domaine vital et non pas seulement en périphérie (Bury, 2020). Bury (2020) a également proposé l'hypothèse que les « long calls » ne se produiraient que dans les alentours de certaines ressources. Par contre, Bury (2020) n'a observé aucune corrélation spatiale entre les « long calls » ou les rencontres intergroupes et les arbres fruitiers utilisés, mais une analyse plus précise s'avère nécessaire. Dès lors, on sait encore peu de choses quant à l'influence de la structure de l'habitat et de la disponibilité des ressources alimentaires sur l'émission des « long calls » des tamarins-lions à croupe dorée, ainsi que sur leur distribution temporelle et spatiale. Ces informations permettraient de mieux comprendre les stratégies de défense territoriale des tamarins-lions.

En ce qui concerne la distribution temporelle des « long calls », le groupe suivi par Bury (2020) émettait le plus de « long calls » aux alentours de 08:00, avant de diminuer presque continuellement jusqu'à la fin de la journée. En outre, plus de 50 % des rencontres intergroupes se sont produites le matin, avec une fréquence de 0.044 rencontre/heures. Pour *Leontopithecus rosalia*, les rencontres peuvent avoir lieu en moyenne une à deux fois par jour, durent en moyenne 1h30 et apparaissent également majoritairement tôt le matin (Peres, 1989).

Les « long calls » se dégradent à partir de 80 mètres de la source d'émission en forêt sempervirente, mais tout dépend du type de végétation (Sabatini & Ruiz-Miranda, 2008). Chez les tamarins-lions, la taille du corps influence la fréquence des « long calls ». Ainsi, l'espèce la plus grande, le TLCD, possède le « long call » le plus grave (Snowdon et al., 1986). *Leontopithecus rosalia* émet des « long calls » préférentiellement dans des strates supérieures, juste en dessous de la canopée (Sabatini & Ruiz-Miranda, 2010). Ce choix d'emplacement pourrait avoir comme but d'améliorer la transmission du son ou d'augmenter les chances d'un contact visuel, qui permettrait de localiser l'individu émetteur (Sabatini & Ruiz-Miranda, 2010).

#### IV. Suivi par bioacoustique

La compréhension de la dynamique des populations d'animaux répondant à des environnements en constante évolution est un moyen important d'évaluer si les stratégies spécifiques de conservation et de gestion sont efficaces (McComb et al., 2010). Le monitoring des populations, notamment pour les mammifères avec de grands domaines vitaux et une longue espérance de vie, nécessite des techniques toujours plus développées et plus performantes. Les caméras pièges, particulièrement, sont devenues très populaires grâce à leur facilité d'utilisation pour les grands mammifères et pour la détection des espèces rares, cryptiques (Zwerts et al., 2021). Cependant, les caméras-pièges, comme chaque technique, ont leurs limites d'utilisation, dépendant du contexte et de l'espèce cible.

Dans certains cas, le « Passive Acoustic Monitoring » (PAM), initialement développé pour le monitoring des populations de cétacés en eau profonde (Enari et al., 2019), est une technique très prometteuse. Il s'agit d'une méthode de bioacoustique, basée sur la détection du son produit par une espèce cible, à travers l'utilisation de capteurs acoustiques, ou « Autonomous Recording Units » (ARUs). Non invasive, elle permet le monitoring de populations animales à des échelles spatiales et temporelles plus larges que la plupart des autres techniques de monitoring. Les principaux avantages de cette méthode sont que : (1) les sons peuvent potentiellement être détectés sur une aire plus importante que les indices visuels, notamment sous l'eau et dans les forêts denses (Marques et al., 2013), (2) le PAM peut être utilisé pour produire des évaluations plus larges en termes de biodiversité étant donné qu'il est possible d'enregistrer de multiples sons provenant de différents animaux à la fois (Sueur et al., 2008), (3) le développement récent des algorithmes de détection automatique permet des efforts considérables en termes de traitement des données (Rhinehart et al., 2020). En effet, le monitoring acoustique étant une discipline en plein essor, des ARUs modernes et « low cost » sont de plus en plus mis sur le marché (Lahoz-Monfort & Magrath, 2021). À l'instar du « Wildlife Acoustics Song Meter », appareil prêt à l'emploi le plus connu, mais se situant dans une gamme de prix élevés (Gibb et al., 2018), il existe à présent des capteurs plus rentables tel que l'AudioMoth, qui

peut atteindre le prix très raisonnable de 30 \$ (Hill et al., 2018). La littérature scientifique est très riche sur le sujet avec notamment Browning et al. (2017) qui offre une vue d'ensemble et fournit des informations complètes pour aider à la sélection et au déploiement de capteurs acoustiques, ainsi que Sugai et al. (2019) qui présente une revue systématique du PAM terrestre, portant sur 460 articles publiés dans 122 revues (1992-2018).

Très utilisée pour le monitoring des oiseaux, chauves-souris, insectes et batraciens, cette technique tend à attirer l'attention pour le monitoring de mammifères terrestres tels que l'éléphant de forêt (*Loxodonta cyclotis* ; Wrege et al., 2017), le loup gris (*Canis lupus* ; Papin et al., 2018), les ongulés (Salem et al., 2021) et les primates. En effet, beaucoup d'espèces de primates peuvent émettre des vocalisations pouvant parcourir quelques centaines de mètres, voire quelques kilomètres (Delgado, 2006 ; Mitani & Stuht, 1998 ; Wich & Nunn, 2002), et qui constituent un moyen efficace pour détecter la présence de ces espèces. Ainsi, le PAM a permis le calcul de l'abondance et l'estimation du territoire de l'orang-outan de Bornéo (*Pongo pygmaeus wurmbii* ; Spillman et al., 2015) et du chimpanzé (*Pan troglodytes* ; Crunchant, 2020 ; Kalan et al., 2015 ; Kalan et al., 2016) ; la détection du macaque japonais (*Macaca fuscata*), du cercopithèque diane (*Cercopithecus diana*), de *Colobus polykomos* (Enari et al., 2018), du singe hurleur noir (*Alouatta caraya* ; Peres-Granados & Schuchmann, 2021) et du gibbon de Hainan (*Nomascus hainanus* ; Dufourq et al., 2021) ; le calcul de la densité de *Phaner pallescens* (Markolf et al., 2022) ; ainsi que l'estimation des effets de bruits miniers sur l'émission des cris de *Callicebus nigrifrons* (Duarte et al., 2016).

Cette technique semble donc particulièrement appropriée pour le suivi de petits primates arboricoles tel que le tamarin-lion à croupe dorée. Tout d'abord, celui-ci possède un « long call » facilement reconnaissable sur un sonogramme (Zambolli, 2016). Ensuite, étant particulièrement discrète, l'utilisation de capteurs acoustiques autonomes constitue une méthode de choix pour l'enregistrement de ses vocalisations. En effet, il n'est plus nécessaire de passer un temps considérable à chercher les TLCD et attendre patiemment que les comportements recherchés se produisent, tout en s'efforçant de les suivre et de ne pas les perdre de vue à travers la forêt. Enfin, le PAM, non intrusif, représente une alternative très intéressante à ce suivi par habituation, processus de longue haleine qui peut non seulement poser des problèmes d'éthique et de santé (Piel et al., 2021), mais peut également constituer une source de stress pour l'animal.

## V. Objectifs

Cette étude vise à déterminer quelles sont les zones privilégiées par le tamarin lion à croupe dorée (*Leontopithecus chrysopygus*) pour le contrôle et la défense de son territoire via l'émission de « long calls » (LC), et quels sont les déterminants écologiques de ces emplacements. Les comportements territoriaux ayant déjà été une première fois étudiés au sein de notre aire d'étude pour un groupe précédemment habitué (Bury, 2020), il s'agit ici d'étendre l'étude des « long calls » à la totalité de la surface du fragment forestier, ainsi qu'à la totalité des groupes présents au sein de celui-ci. Ceci nous permettra de pouvoir identifier les facteurs écologiques, en termes de structure de l'habitat et de disponibilité des ressources alimentaires qui expliquent la distribution spatiale des LC. En effet, déterminer si l'habitat influence l'émission des LC et si oui de quelle manière, constitue une information précieuse permettant de mieux comprendre les stratégies de défense territoriale des tamarins-lions.

Plus spécifiquement, cette étude vise à déterminer :

- I. La distribution spatiale et temporelle des « long calls » de trois groupes contigus de tamarins lions à croupe dorée.
- II. Si l'émission des « long calls » est associée à des caractéristiques structurelles spécifiques de la forêt.
- III. Si l'émission des « long calls » est associée à la présence de ressources alimentaires, en se concentrant sur les espèces fruitières d'arbres et de lianes se trouvant dans le fragment.

Plusieurs hypothèses peuvent être reliées à ces objectifs :

- I. Si les « long calls » possèdent bien une fonction territoriale, leur nombre devrait se révéler plus élevé tôt le matin, au même moment que la plupart des rencontres intergroupes, et le long des frontières préexistantes du territoire, afin de maintenir et de renforcer celles-ci (Peres, 1989).
- II. Si les caractéristiques écologiques structurelles affectent l'émission de « long calls » à un emplacement spécifique, on pourrait s'attendre à une corrélation positive entre le nombre de « long calls » et :
  - a. Le diamètre moyen ainsi que la hauteur moyenne des arbres, si on suppose que les tamarins lions à croupe dorée préfèrent se déplacer au sein d'arbres plus âgés, davantage amenés à produire des fruits. Dans ce cas, on devrait également

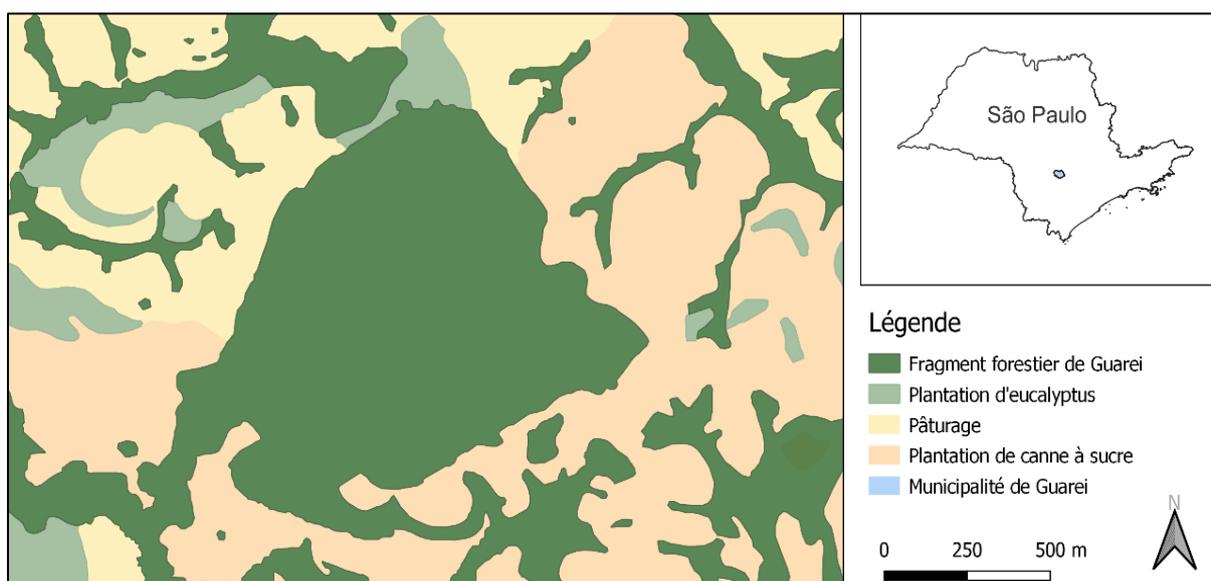
observer une corrélation négative entre le nombre de « long calls » et la densité moyenne de tiges.

- b. La couverture moyenne, le diamètre moyen de canopée ainsi que les connexions de la canopée des arbres, également directement corrélés à l'âge des arbres, ce qui rendrait leur déplacement plus aisé et les protégerait davantage de la vue de leurs prédateurs (Rylands, 1986).
  - c. La hauteur moyenne de la première branche, étant donné qu'il s'agit d'un paramètre pertinent dans le cadre de leurs stratégies anti-prédation (Day et Elwood, 1999) : plus la première branche est haute, plus difficile sera l'accès par un prédateur terrestre, comme les félidés par exemple.
- III. Si les caractéristiques écologiques structurelles affectent l'émission de « long calls » à un emplacement spécifique, on pourrait également s'attendre à un nombre de « long calls » plus important dans les zones où le volume moyen occupé par les lianes est modéré. Les lianes leur apportent en effet un déplacement plus aisé ainsi que des ressources alimentaires, mais un milieu trop abondant en lianes devient hostile et laisse peu de place à la présence d'arbres.
- IV. Si les tamarins-lions à croupe dorée s'efforcent de défendre les aires contenant le plus de ressources alimentaires au total, indépendamment de la période, on devrait s'attendre à ce que ceux-ci émettent davantage de « long calls » dans les zones riches en espèces d'arbres et de lianes dont ils consomment les fruits.
- V. Si les tamarins-lions à croupe dorée s'efforcent de défendre les ressources alimentaires disponibles à un moment donné, on devrait s'attendre à ce que le nombre de « long calls » soit plus élevé à proximité des zones riches en arbres en fruit sur le moment.

# MATÉRIEL ET MÉTHODE

## I. Site d'étude

Les données permettant de réaliser cette étude ont été récoltées dans un fragment forestier de 100 hectares de la forêt atlantique secondaire semi-décidue, situé dans la municipalité de Guareí, état de São Paulo. Il s'agit d'une aire privée entourée de pâturages ainsi que de plantations de canne à sucre et d'eucalyptus (Figure 6). Ces zones anthropisées compliquent le déplacement des espèces hors du fragment, celles-ci pouvant donc se retrouver plus isolées.



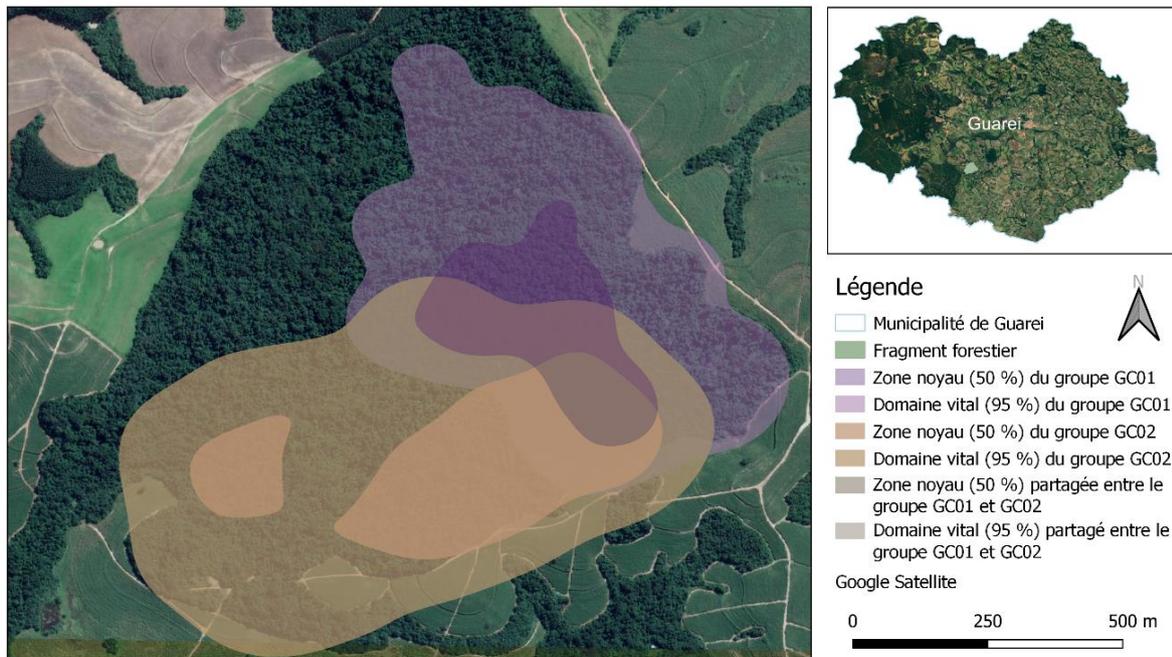
**Figure 6** : Situation géographique et occupation du sol dans la zone du fragment forestier de Guareí. Le fragment est entouré en majorité de plantations en canne à sucre, de pâturages et en moindre quantité de plantations d'eucalyptus. De minces bras de forêt relient le fragment à d'autres morceaux de fragments forestiers.

L'élévation moyenne de la région est de 635 mètres. La température minimale, maximale et moyenne est respectivement de 16.6, 26.8 et 21.7 °C, estimés sur une période allant de 2001 à 2021. Les précipitations moyennes annuelles sont de 1296 mm (Agritempo, 2022).

Le site d'étude est situé à 11 km de distance de la station écologique d'Angatuba, abritant la plus proche population de TLCD. Les TLCD représentent la seule espèce de primate du site.

## II. Groupes d'étude

Le site d'étude concentre trois groupes de TLCD, qui se partagent les 100 hectares du fragment, en trois territoires. Le groupe GC01 a été précédemment habitué. Les domaines vitaux ont été estimés pour les groupes GC01 et GC02 précédemment (Figure 7) mais n'ont pas été revu au cours de cette étude. Le groupe GC03 occuperait la zone nord-ouest du fragment.



**Figure 7 :** Estimation du domaine vital des groupes GC01 et GC02 au sein du fragment forestier de Guarei (LaP – UNESP). La couleur brun clair-orange se rapporte au groupe GC02 tandis que la couleur mauve représente le groupe GC01. Les couleurs plus foncées accentuent les zones noyaux (50 %) tandis que les couleurs les plus claires se rapportent au reste du domaine vital (95 %). Les zones de chevauchements sont également marquées.

La composition des groupes a été relevée dernièrement grâce à leurs captures respectives en mars, avril et juillet 2022 (Tableau 1). La composition des groupes étant en constante variation, il n'est pas impossible que les groupes actuels puissent, ou aient pu se diviser en d'autres groupes au moment de la réalisation de cette étude.

**Tableau 1 :** Composition des groupes de TLCD au sein du fragment forestier de Guarei.

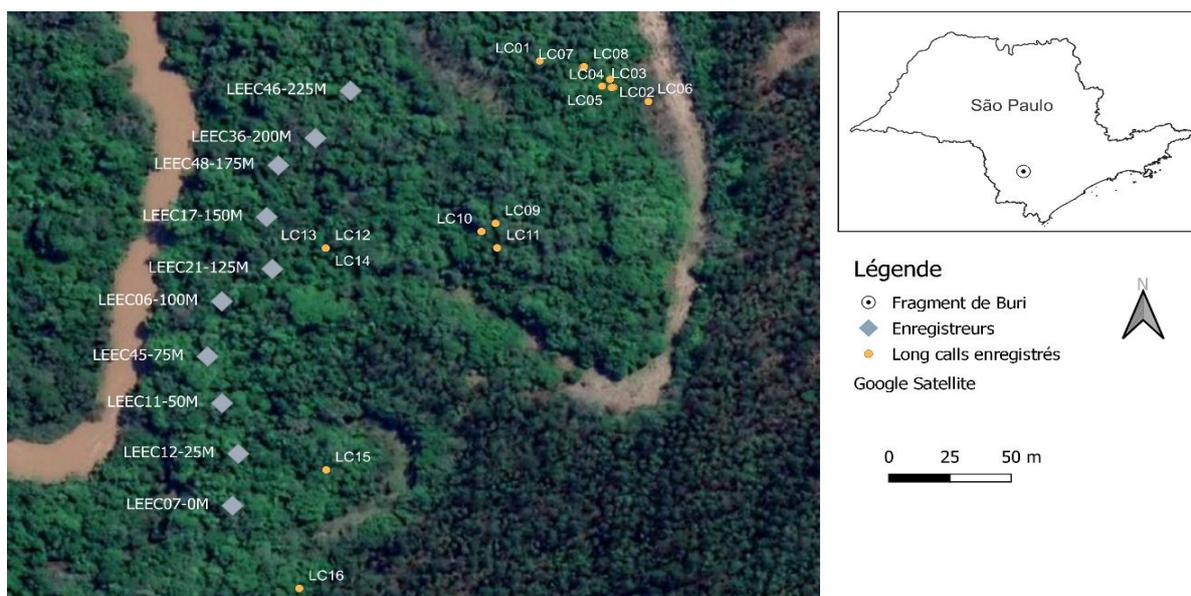
| Groupe ID | Date de capture | Nombre d'individus | mâle   |          | femelle |          |
|-----------|-----------------|--------------------|--------|----------|---------|----------|
|           |                 |                    | adulte | juvénile | adulte  | juvénile |
| GC01      | 11 mars 2022    | 5                  | 2      | 1        | 1       | 1        |
| GC02      | 21 juillet 2022 | 4                  | 1      | 2        | 1       | 0        |
| GC03      | 19 avril 2022   | 6                  | 2      | 2        | 1       | 1        |

### III. Acquisition des données

La phase de récolte des données a été menée en quatre périodes. La première s'est étalée du 27 mars au 8 avril 2022, avec la création ainsi que la récolte des données de végétation et de phénologie de 24 parcelles, qui s'ajoutent aux 21 parcelles déjà existantes et qui servent à des projets en cours. Lors de la première période, nous avons également réalisé la pose d'enregistreurs (ARUs) dans ces 45 parcelles. Du 11 au 24 avril 2022, les données acoustiques ont été récoltées via ces enregistreurs. La troisième phase s'est déroulée du 28 avril au 6 mai 2022, par le retrait des enregistreurs et la collecte des données phénologiques des 21 autres parcelles. La quatrième phase a eu lieu du 16 au 22 mai, avec l'identification des arbres mesurés lors de la première phase, ainsi que l'inventaire des lianes dans toutes les parcelles, avec l'aide d'un botaniste, Fred Mazziere.

#### 1. Stratégie d'échantillonnage

Une phase pilote a eu lieu à la fin du mois de février, dans un autre fragment forestier situé à Buri, état de São Paulo, afin de mesurer la distance de captation des « long calls » par les ARUs. Pour cela, deux personnes ont suivi un groupe habitué de TLCD pendant une durée de deux heures, durant lesquelles ils ont noté toutes les vocalisations des individus, ainsi que la localisation précise de leurs émissions. Pendant ce temps, 10 ARUs, placés en ligne droite à 25 m de distance en moyenne, dans le territoire du groupe, enregistraient ces vocalisations (Figure 8). Le traitement a consisté en, d'une part, le calcul de la distance entre chaque vocalisation et chaque ARUs, effectué sur le logiciel *Qgis 3.10*, et d'autre part, en la détection manuelle des « long calls » sur chaque enregistrement, à l'aide du logiciel *Raven Pro 1.6* développé par le laboratoire ornithologique de l'Université de Cornell. À l'exception d'un LC qui n'a déjà plus été détecté après 41 m, tous les LC émis à moins de 69 m ont été enregistré par les ARUs, tandis que 18.75 % l'ont été jusque 81 m (Annexe 1).



**Figure 8 :** Illustration de la phase pilote à Buri, durant laquelle 16 « long calls » ont été enregistrés par 10 enregistreurs placés à 25 m les uns des autres en ligne droite.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

Étant donné que 45 enregistreurs étaient disponibles et que 21 parcelles de 10 sur 30 m avaient déjà été créées et avaient bénéficié d'une caractérisation de la végétation en février 2020, il a donc été décidé de réutiliser ces parcelles ainsi que les données qui y ont été récoltées, et d'en ajouter de nouvelles afin de couvrir la majorité de la surface du fragment. Un total de 24 parcelles a donc été créé de manière systématique, de façon à combler au maximum les espaces non prospectés par les parcelles préexistantes (Figure 9). Le rayon de captation des « long calls » a été utilisé afin de respecter le plus possible une distance minimale entre chaque enregistreur de 140 m.

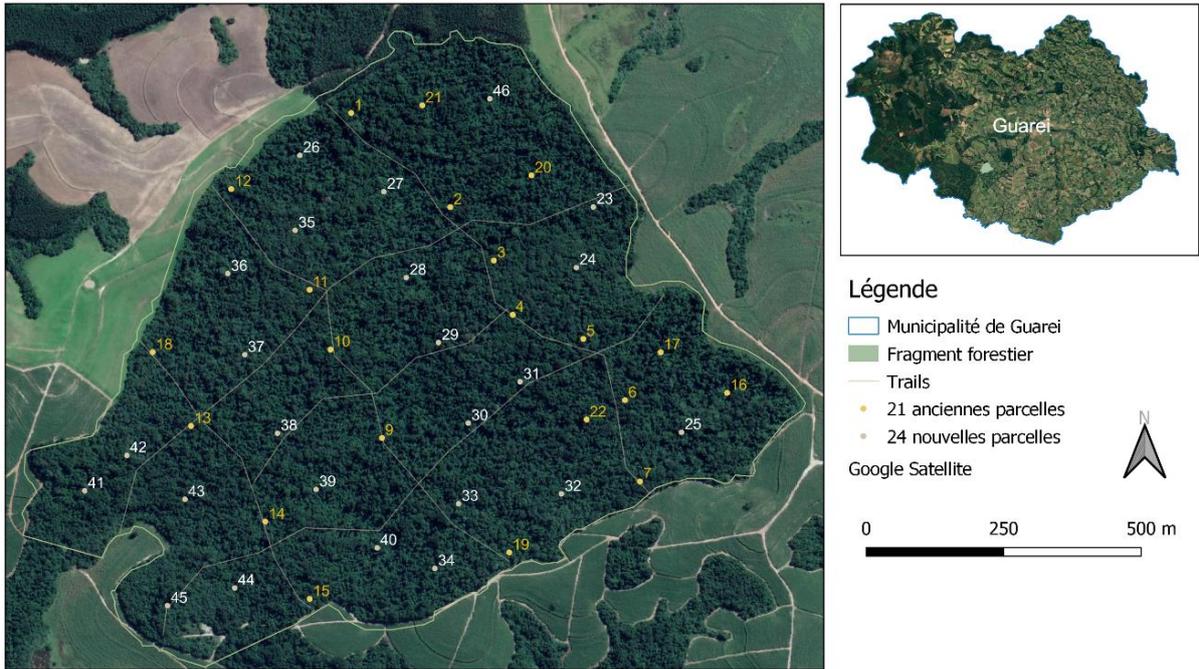


Figure 9 : Distribution des anciennes (en jaune) et nouvelles parcelles (en blanc) au sein du fragment de Guarei.

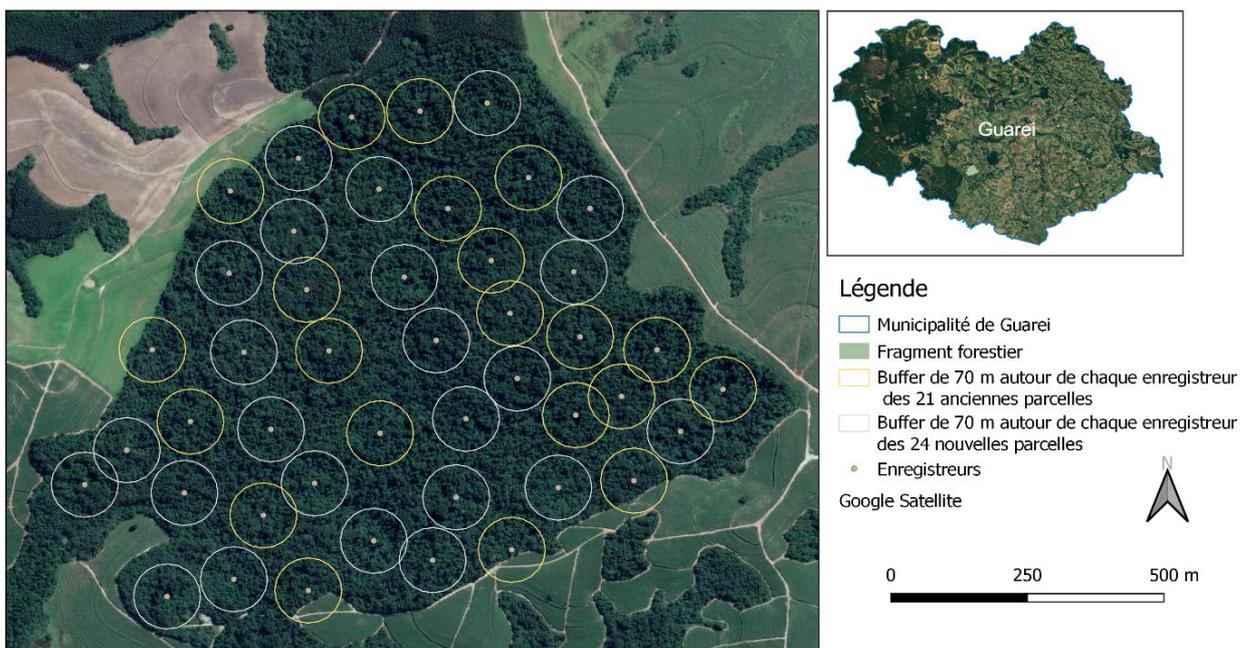


Figure 10 : Distribution des enregistreurs, placés au sein d'anciennes (en jaune) ou de nouvelles parcelles (en blanc), et leur rayon de captation des « long calls » égale à 70 m.

Dans l'objectif d'enregistrer les « long calls » des TLCD et de relier ceux-ci à la caractérisation de la végétation issue de la position de ces vocalisations, chaque parcelle a été dotée d'un ARU en son centre. En moyenne, les ARUs sont espacés de 159 m (Figure 10), évitant ainsi au maximum le risque d'enregistrer un même LC par deux ARUs. Les ARUs couvrent une surface d'environ 73 ha sur les 101 ha du fragment.

## 2. Récolte des données acoustiques

### 2.1. Modèle utilisé et paramétrage

Le modèle des ARUs utilisé dans cette étude est le « Song Meter 3 » (SM3), développé par la firme américaine Wildlife Acoustics. Ces ARUs appartiennent au laboratoire d'écologie spatiale et de conservation (LEEC) situé sur le campus de Rio Claro de l'Université de l'état de São Paulo (UNESP), et ont été prêtés pour cette étude.

Ces ARUs ont été programmés via le logiciel de configuration « SM3 Configurator » (Annexe 2). Ils ont été réglés pour enregistrer en mono, sans gain, à une fréquence d'échantillonnage de 32 kHz, étant donné que la fréquence des cris du TLCD peut varier de 4,7 kHz à 12,4 kHz (Zambolli, 2016). En effet, la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale à deux fois la fréquence d'enregistrement souhaitée, selon le théorème de Naquist-Shannon. Les fichiers audio résultants ont été enregistrés sous 16 bits et sous le format « Waveform Audio Files » (.wav).

La programmation de l'horaire journalier d'enregistrement pendant lequel le capteur était actif a été définie sur base de la capacité de batterie et de stockage. Étant donné qu'un total de 64 Go était disponible pour chaque appareil, un compromis a été défini entre la quantité de données générées, le temps de traitement des données ainsi que l'horaire journalier des TLCD. Au sein de cette même aire d'étude, Bury (2020) a défini l'heure moyenne de sortie et de rentrée du site dortoir de respectivement 07:16 et 16:32. Il a donc été décidé que chaque appareil soit paramétré pour enregistrer en continu de 06:00 à 18:00 heures afin de pouvoir représenter au mieux la fréquence des « long calls » au cours de la journée, et ce durant 14 jours – le délai maximum de stockage avec une telle programmation.

### 2.2. Installation et récupération des ARUs

Les ARUs ont été placés les 7 et 8 avril 2022, mais ont été réglés pour n'entrer en fonctionnement qu'à partir du 11 avril à 06:00. Ce réglage a été effectué pour s'assurer que tous les enregistreurs commencent à enregistrer au même moment, ne sachant alors pas exactement combien de temps prendrait leur installation. Il s'agissait donc d'une marge de sécurité.

Ceux-ci ayant été synchronisés, dotés chacun de quatre batteries Duracell de type D, de deux cartes SD de 32 Go ou une de 64 Go, et ayant été programmés la veille de leur installation, il ne restait plus qu'à attacher ceux-ci à un arbre. Les ARUs ont ainsi été disposés à une hauteur approximative de 1.7 m, la hauteur maximale atteignable sans échelle. Des arbres avec de petits diamètres ont été privilégiés (Figure 11).

Dès que le capteur ait été solidement attaché, il était nécessaire de s'assurer du fonctionnement de celui-ci ainsi que du bon réglage du programme. Pour cela, il suffisait de presser le bouton « Check status ». Il était également important de s'assurer qu'il n'y avait pas de chaîne ou de sangle pendante, celles-ci pouvant parasiter l'enregistrement à l'aide du vent. Le bon fonctionnement de plusieurs ARUs a été vérifié, au hasard, lors de leur période d'enregistrement.



Figure 11 : Illustration d'un SM3 déployé sur le terrain.

Lors du placement et du retrait, une fiche standardisée a été complétée (Annexe 3) pour chaque capteur acoustique. Celle-ci permettait principalement de préciser l'identité du capteur, le numéro de la parcelle, les coordonnées géographiques de l'emplacement, l'heure et la date du placement et du retrait, la topographie (estimée visuellement), ainsi que l'état du matériel récupéré à la fin de la collecte de données.

### 3. Récoltes des données de végétation

Les parcelles de végétation de 10 sur 30 m ont été construites et subdivisées en trois sous-parcelles de 10 sur 10 m. De nouveaux sentiers ont été ouverts pour y accéder et les coordonnées GPS du coin le plus rapproché au sentier et de son opposé, ont été récoltées. La première sous-parcelle est celle qui se trouve la plus proche du sentier, et donc du commencement de la parcelle. Chaque arbre inclus dans la parcelle et mesurant plus de 15 cm de circonférence a été tagué avec un numéro unique. Toutes les parcelles et sous-parcelles suivent également une

numérotation préexistante. Il a été décidé d'utiliser une référence de 15 cm de circonférence (4.77 cm de diamètre) pour mesurer les arbres et de ne pas se baser sur la référence de 10 cm de diamètre à hauteur de poitrine utilisée dans la plupart des études. Celle-ci s'est en effet révélée trop inclusive pour le type de forêt étudiée dans le site d'étude ; une forêt secondaire avec beaucoup de troncs plus fins. De plus, le TLCD est un petit primate qui utilise également des troncs plus fins, tout comme il utilise les lianes pour se déplacer.

Afin de caractériser la végétation du site d'étude, plusieurs mesures ont été collectées pour chaque arbre : la circonférence à hauteur de poitrine (cm), la hauteur totale (m), la hauteur de la première branche (m), le diamètre du houppier (m), la couverture de canopée (%), le nombre de connexions du houppier, ainsi que la phénologie, permettant de quantifier les ressources alimentaires en fruits. Toutes ces mesures, à l'exception de la circonférence, ont été estimées visuellement en suivant le protocole préexistant utilisé pour collecter les mesures des anciennes parcelles (Annexe 4). Chaque arbre mesuré a également été identifié par un botaniste. La phénologie a été estimée suivant un score d'abondance de fruits (Fournier, 1974) défini par 5 niveaux, d'une absence totale (0) à un houppier totalement garni (4). Cette estimation a été conduite pour les bourgeons, fleurs, fruits immatures et matures présents dans la canopée. La collecte des données phénologiques s'étant déroulée en deux phases séparées d'un mois, les données récoltées lors de la première phrase ont été recueillies une seconde fois afin de pouvoir déterminer s'il y avait une différence significative entre ces deux périodes.

Les 21 parcelles déjà existantes n'ont pas été remesurées, étant donné que les mêmes mesures étaient déjà disponibles suite à un échantillonnage en février 2020. Il a donc été choisi de poser l'hypothèse que la structure n'a pas évolué de manière significative depuis les dernières mesures. Les anciennes et nouvelles parcelles sont traitées ensemble.

Étant donné l'objectif de cette étude de localiser les ressources alimentaires, un inventaire des lianes a également été mené, conduit par un botaniste. Ainsi, chacune des sous-parcelles de 10 sur 10 m a été prospectée afin d'y estimer le volume occupé par les lianes du sol jusqu'à la canopée (%), le nombre d'espèces différentes, les différentes familles présentes, ainsi que le nombre d'individus d'espèces consommées par les TLCD parmi les 7 espèces connues : *Abuta selloana*, *Celtis iguanaea*, *Celtis spinosa*, *Cissus sucicaulis*, *Doliocarpus dentatus*, *Mendoncia velloziana*, *Pereskia aculeata* (LaP - UNESP ; Valladares-Padua, 1993). Le volume occupé par les lianes a été estimé visuellement, après concertation entre deux observateurs.

## IV. Analyse des données

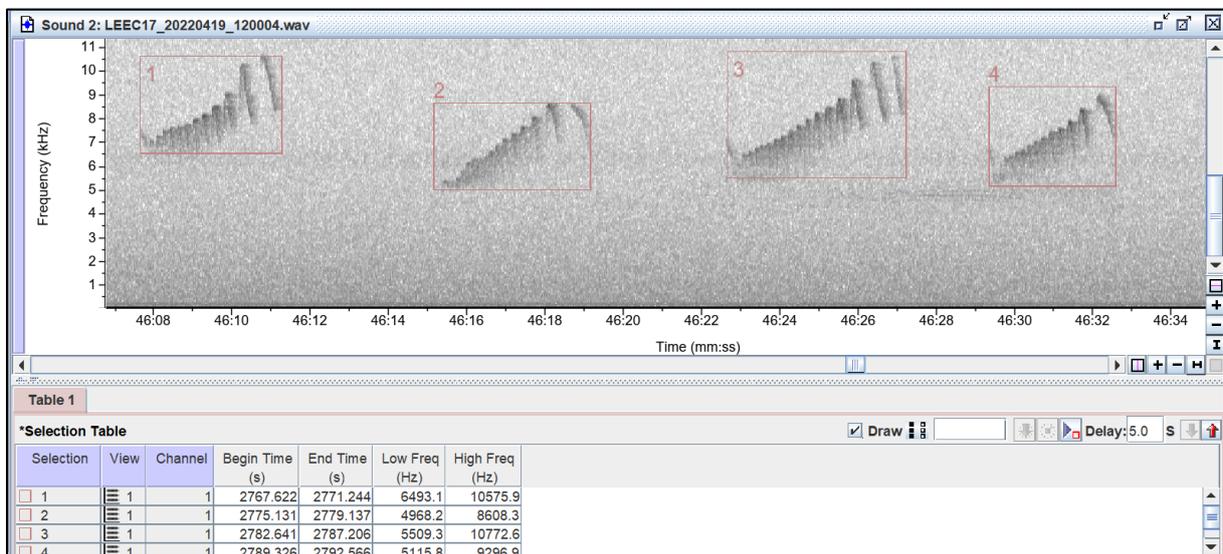
### 1. Analyse des données acoustiques

#### 1.1. Détection des « long calls »

Étant donné le nombre très élevé d'heures d'enregistrements disponibles (7392 heures), il a été décidé de conduire l'analyse sur une sélection d'échantillons audio égale à 25 % du jeu de données, soit 1848 heures. Ainsi, chaque enregistrement d'une heure a été découpé en 4 fragments de 15 minutes à l'aide du logiciel *R 4.1.0.* et du package *tuneR*. Ensuite, un tirage aléatoire a été réalisé pour choisir un seul fragment de 15 min parmi ceux-ci.

Premièrement, chaque fragment d'enregistrement de 15 minutes a été analysé par inspection visuelle et manuelle des spectrogrammes via le logiciel *Raven Pro 1.6.* Les spectrogrammes ont été configurés au moyen de la fenêtre de Hann, dont les réglages sont disponibles en Annexe 5.

Deuxièmement, chaque « long call » identifié a été reporté dans une table de sélection, permettant le calcul de la durée et de la fréquence minimum et maximum de celui-ci (Figure 12). Une fois tous les enregistrements analysés, la présence de « long calls » identiques qui auraient été enregistrés à partir de plusieurs ARUs a été vérifiée.



**Figure 12 :** Visualisation du spectrogramme et de la table de sélection dans Raven Pro 1.6. Le spectrogramme affiche les sons en fonction de leur fréquence d'émission (kHz) et du temps (s). Chaque rectangle représente une boîte de sélection d'un « long call », ici de 1 à 4. Les informations relatives à chaque « long call » sélectionné sont automatiquement reportées dans la table de sélection en bas à gauche.

Une fois tous les enregistrements analysés et les « longs calls » détectés, la somme de ceux-ci a été attribuée à chaque ARU. Afin de tester l'influence de la topographie sur le nombre de LC, le test du chi carré « Goodness of fit » a été réalisé et a été conduit à l'aide de la fonction *chisq.test* du package *R stats*.

### 1.2. Analyse spatio-temporelle

La densité du nombre de « long calls » au sein du fragment forestier a été représentée par une carte de chaleur suivant la méthode « kernel ». Au niveau temporel, le nombre de « long calls » a été représenté au cours de la journée, ainsi qu'au cours de la période d'enregistrements. Ces graphiques ont été produits avec le package *R ggplot2*.

## 2. Relation entre « long calls » et caractéristiques écologiques

### 2.1. Préparation des données

Les données phénologiques ayant été récoltées à un mois d'intervalle, un test t de Student a été conduit sur les mêmes relevés issus de la première et de la seconde phase de récolte des données phénologiques, à l'aide du package *R stats* et de la fonction *t.test*, dans le but de déterminer si les relevés possèdent des différences significatives.

Les quantités de fruits matures et immatures ayant été classées suivant l'indice de Fournier (F), un indice de disponibilité des fruits au niveau de la canopée a été calculé (Fruit Availability Index, FAI) pour conduire les analyses. Celui-ci équivaut au score d'abondance de Fournier divisé par quatre (0.0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0) et multiplié par la surface terrière (G), pour chaque arbre fruitier (Develey & Peres, 2000), suivant l'équation :  $FAI = G * F/4$ .

Le FAI a ainsi été calculé pour les fruits matures et immatures. Ces derniers ont été pris en compte, car il s'agit potentiellement d'une ressource que le TLCD pourrait défendre. Le nombre d'arbres fruitiers consommés par le TLCD a été déterminé en utilisant une liste de 101 espèces d'arbres, créée à partir d'une banque de données du Laboratoire de Primatologie de l'UNESP (LaP). La moyenne relative à chaque parcelle a ensuite été calculée pour chaque variable. Un total de 20 écologiques variables étaient à ce stade disponible (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Synthèse des variables de caractérisation de la végétation spécifiques à chaque parcelle et disponibles pour les analyses statistiques, après préparation des données. Les variables ont été divisées en 3 groupes, à savoir les variables représentant la richesse spécifique, la structure de la forêt et les ressources alimentaires. Les variables de ressources alimentaires ont également été séparées en ressources permanentes et immédiates, suivant leur disponibilité temporelle.

| <b>Variables disponibles</b>   |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Richesse spécifique</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre d'espèces d'arbres</li> <li>- Nombre de familles d'arbres</li> <li>- Nombre d'espèces de lianes</li> <li>- Nombre de familles de lianes</li> </ul>  |
| <b>Structure de la forêt</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre de troncs</li> <li>- Densité moyenne (ind./ha)</li> <li>- Hauteur moyenne (m)</li> <li>- Diamètre à hauteur de poitrine moyen (cm)</li> <li>- Surface terrière moyenne (cm<sup>2</sup>)</li> <li>- Couverture moyenne de canopée (%)</li> <li>- Hauteur moyenne de la première branche (m)</li> <li>- Diamètre de canopée moyen (m)</li> <li>- Nombre moyen de connexions de canopée</li> <li>- Volume moyen occupé par les lianes</li> </ul> |
| <b>Ressources alimentaires</b> |   |
| Permanent                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre d'arbres fruitiers consommés</li> <li>- Nombre d'espèces d'arbres fruitiers consommés</li> <li>- Nombre d'espèces de lianes consommées</li> <li>- Nombre de lianes consommées</li> </ul>  |
| Immédiates                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Somme des indices de disponibilité en fruits (FAI)</li> <li>- Nombre d'arbres fruitiers consommés en fruit</li> </ul>  |

## 2.2. Analyses statistiques

Deux modèles ont été réalisés pour répondre aux objectifs : (1) Nombre de « long calls » ~ Variables structurelles, (2) Nombre de « long calls » ~ Ressources alimentaires.

Les variables issues des différents modèles ont d'abord été soumises au facteur d'inflation de la variance (Variance Inflation Factor, VIF), afin d'identifier une éventuelle multicolinéarité entre deux ou plusieurs variables. Les variables ayant une valeur VIF supérieure ou égale à 3 ont été exclues du reste de l'analyse. Le package *R car* a été utilisé pour cette analyse. Des 20 variables disponibles, 6 ont été retenues pour le premier modèle et 4 autres pour le deuxième. La plupart des variables étant corrélées entre elles (Annexe 6), il a fallu faire plusieurs choix répondants aux objectifs de l'étude. Ainsi, la densité moyenne, le diamètre à hauteur de poitrine moyen, la couverture de canopée moyenne, le nombre moyen de connexions de canopée, la hauteur moyenne de la première branche ainsi que le volume moyen occupé par les lianes ont été gardés comme variables structurelles. Le nombre moyen d'espèces de lianes consommées par les TLCD a été préféré au nombre de lianes tandis que la somme des FAI a été préférée au nombre d'arbres en fruit, en fonction du meilleur modèle.

Ensuite, des modèles additifs généralisés (GAM) ont été générés avec une distribution de type poisson, à l'aide du package *R mgcv*, afin d'établir s'il existe une relation entre la variable réponse (nombre de « long calls ») et les prédicteurs (variables structurelles ou variables de ressources alimentaires). La méthode d'estimation des paramètres de lissage choisie est le maximum de vraisemblance restreint (restricted maximum likelihood, REML). Il s'agit de la méthode la plus recommandée aujourd'hui (Wood, 2011). Le modèle additif généralisé a été choisi, car la plupart des relations entre la variable réponse et les prédicteurs ne sont pas linéaires (Zaluar et al., 2022). Plusieurs modèles ont été réalisés avec les variables retenues et le meilleur modèle a été choisi en utilisant le critère d'Akaike (AIC) à l'aide de la fonction *AIC* incluse dans le package *stats*, ainsi que le score REML obtenu pour chaque modèle (Annexe 7).

À partir des données ajustées, un graphe a été réalisé pour chaque variable, indiquant les prédictions pour le nombre de « long calls », à l'aide de la fonction *predict.gam* du package *mgcv*. Afin d'étudier la contribution de chaque variable dans l'explication de la variation de la variable réponse, un test de distribution hiérarchique de la variance a été utilisé, à l'aide du package *R hier.part*. Enfin, la présence de surdispersion ou de sousdispersion a été vérifiée pour chaque modèle à l'aide du package *AER*.

# RÉSULTATS

## I. Données acoustiques

### 1. Détection des « long calls »

Sur un total de 7560 heures enregistrées, 6888 heures étaient exploitables. En effet, les enregistrements des ARUs 16, 19 et 25 se sont révélés non exploitables, soit à cause d'une totale absence de sons (ARU 19), soit à cause de la présence seule de bruits crépitants, ou artefacts sonores. De plus, les fichiers de l'ARU 20 ont été perdus avant analyse. L'analyse des données acoustiques a donc été réalisée sur 41 ARUs, donc pour 41 parcelles. Sur 1722 heures échantillonnées, un total de 619 « long calls » a été détecté, et ce au sein de 21 parcelles (Tableau 3). Il y a eu au moins un LC détecté par jour, et la moyenne se situe à 44.21 ( $\pm$  59.98) LC par jour.

**Tableau 3 :** Nombre de « long calls » (LC), classé par ordre décroissant, détectés dans chacune des 21 parcelles avec présence de LC et chaque enregistreur (ARU), longitude et latitude associées.

| Parcelle | ARU      | Nombre de LC | Longitude  | Latitude   |
|----------|----------|--------------|------------|------------|
| 42       | LEEC17   | 150          | -48.248688 | -23.418733 |
| 13       | LEEC41   | 122          | -48.247497 | -23.418186 |
| 18       | LEEC47   | 87           | -48.248184 | -23.416919 |
| 37       | LEEC15   | 73           | -48.246517 | -23.416926 |
| 1        | LEEC06_1 | 30           | -48.244725 | -23.412662 |
| 12       | LEEC26   | 24           | -48.246745 | -23.413971 |
| 19       | LEEC32   | 23           | -48.241673 | -23.420474 |
| 10       | LEEC21   | 21           | -48.245015 | -23.416866 |
| 14       | LEEC48   | 16           | -48.246146 | -23.419943 |
| 35       | LEEC35   | 15           | -48.245704 | -23.414675 |
| 4        | LEEC42   | 13           | -48.241773 | -23.416148 |
| 36       | LEEC23   | 9            | -48.246842 | -23.415453 |
| 43       | LEEC11   | 9            | -48.247495 | -23.419451 |
| 20       | LEEC38   | 5            | -48.241494 | -23.413680 |
| 40       | LEEC27   | 5            | -48.244160 | -23.420433 |
| 28       | LEEC44   | 4            | -48.243723 | -23.415498 |
| 45       | LEEC02   | 4            | -48.247855 | -23.421456 |
| 11       | LEEC28   | 3            | -48.245441 | -23.415843 |
| 22       | LEEC06_2 | 3            | -48.240616 | -23.417938 |
| 33       | LEEC10   | 2            | -48.242710 | -23.419562 |
| 31       | LEEC37   | 1            | -48.241641 | -23.417341 |

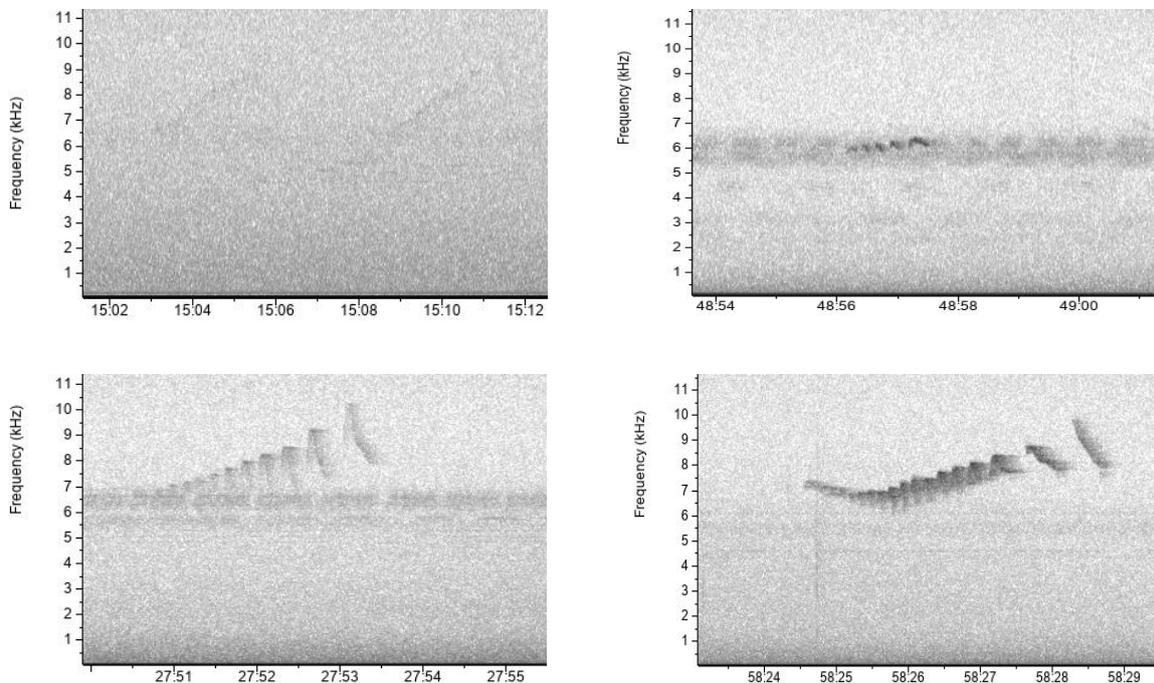
## RÉSULTATS

La majorité des « long calls » (91.6 %, 567/619) sont apparus dans des parcelles situées sur un plateau (72.2 %, 30/41) tandis que 8.4 % ont eu lieu au sein de parcelles situées sur une pente (19.5 %, 8/41). Aucun « long call » n'a été détecté dans des parcelles de fond de vallée, bien que minoritaires (7.3 %, 3/41). Le test du chi carré « Goodness of fit » n'a pas révélé de différence significative entre le nombre de LC et la topographie (p-valeur = 0.4768).

La durée du « long call » est en moyenne de 2.86 s ( $\pm 1.03$ ), tandis que sa fréquence varie en moyenne de 6120.95 Hz ( $\pm 974.3$ ) à 8936.81 Hz ( $\pm 1023.17$ ) (Tableau 4). Au cours de l'analyse des spectrogrammes, différents types de « long calls » ont été détectés (Figure 13). Les « long calls » détectés n'ont pas été identifiés selon leur nombre de phrases.

**Tableau 4 :** Caractéristiques spectrales des « long calls » détectés.

|                   | Durée (s) | Fréquence minimale (Hz) | Fréquence maximale (Hz) |
|-------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Moyenne</b>    | 2.86      | 6120.95                 | 8936.81                 |
| <b>Écart-type</b> | 1.03      | 974.30                  | 1023.17                 |
| <b>Min.</b>       | 0.85      | 2496.30                 | 5677.00                 |
| <b>Max.</b>       | 6.27      | 9220.10                 | 11233.20                |



**Figure 13 :** Illustration de différents « long calls » ou partie de « long calls », en fonction de la puissance sonore. La puissance minimale se trouve en haut à gauche tandis que la puissance maximale se trouve en bas à droite.

## 2. Analyse temporelle

La distribution des « long calls » semble hétérogène au cours de la journée, avec des pics à 08:00, 12:00, 14:00 et 16:00 (Figure 14). Si l'on divise la journée en 2 groupes ( $t_1$  = de 06:00 à 11:59 ;  $t_2$  = de 12:00 à 18:00), le pourcentage de « long calls » est de respectivement 31.3 % (166/619) et 68.8 % (426/619). Il y a donc davantage de LC durant l'après-midi. Un seul LC a été enregistré de 06:00 à 07:00 (06:59), et aucun de 17:00 à 18:00.

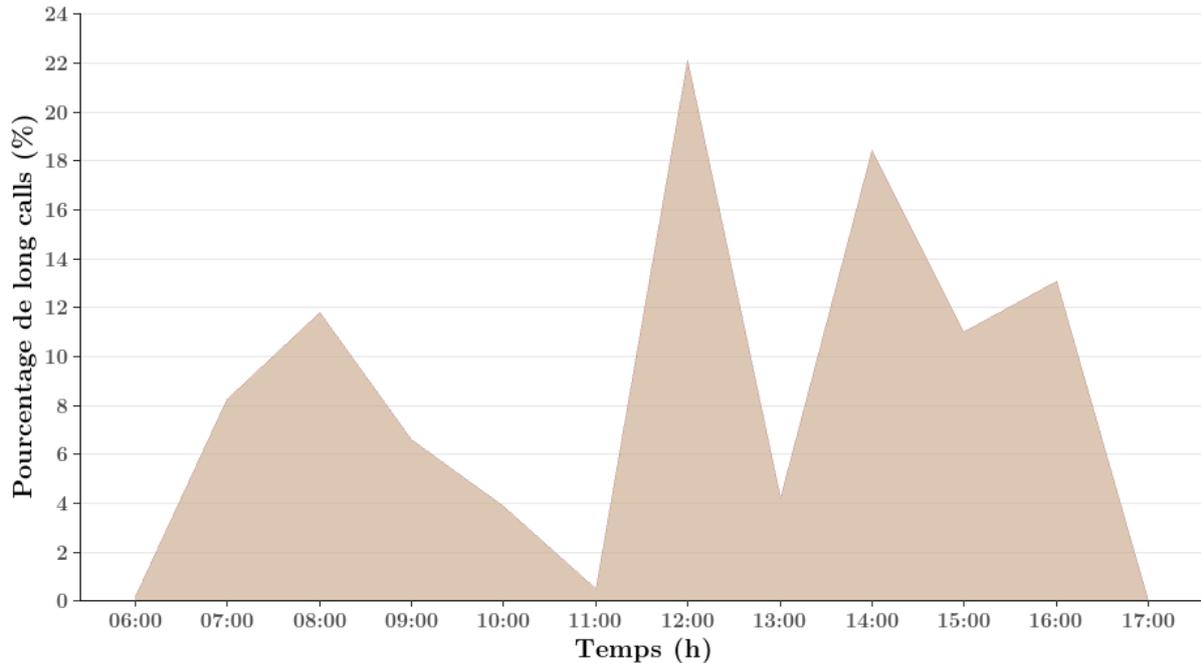
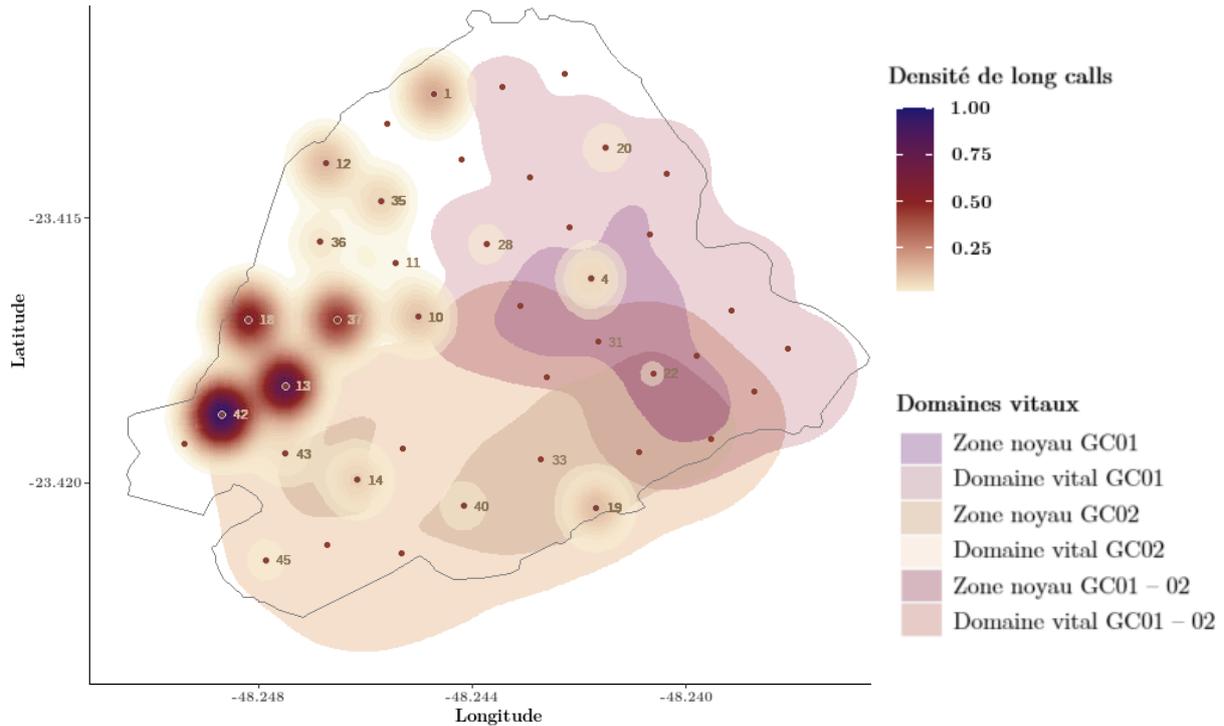


Figure 14 : Pourcentage de « long calls » au cours de la journée.

## 3. Analyse spatiale

La majorité des « long calls » forme un noyau concentré au sein du territoire supposé du groupe GC03, non loin du territoire du groupe GC02 au sud-ouest du fragment, totalisant 74.6 % des « long calls » détectés (453/619) en 6 parcelles (Figure 15). Le groupe GC03 semble donc avoir été le plus actif en termes de vocalisations, contrairement au groupe GC01, à l'est du fragment, où seulement 26 LC sont détectés en 5 parcelles, dont 17 dans leur zone noyau au sein de 3 parcelles. Le groupe GC02 comptabilise 58 LC dans sa zone noyau, en 6 parcelles, et 277 LC dans le reste de son domaine vital, bien que 272 LC se retrouvent à la frontière supposée avec le territoire du groupe GC03. Seulement 4 LC sont à dénombrer dans la zone de chevauchement entre le territoire des groupes GC01 et GC02. La répartition des LC entre la zone noyau et la zone périphérique diffère en fonction des groupes (Tableau 5). Ne connaissant pas la zone noyau ni la périphérie du territoire du groupe GC03, il n'est pas possible d'établir la proportion de ses LC en ces différents endroits.

## RÉSULTATS



**Figure 15 :** Représentation par kernel de la densité spatiale des « long calls » au sein du fragment. Les numéros identifient les parcelles contenant des « long calls », les autres n'étant pas numérotées.

**Tableau 5 :** Proportion des « long calls » (LC) des 3 groupes en fonction de la zone noyau et de la périphérie. Ne connaissant pas précisément le domaine vital du groupe GC03, seule une estimation du nombre de LC émis au sein de son territoire supposé lui a été prêtée.

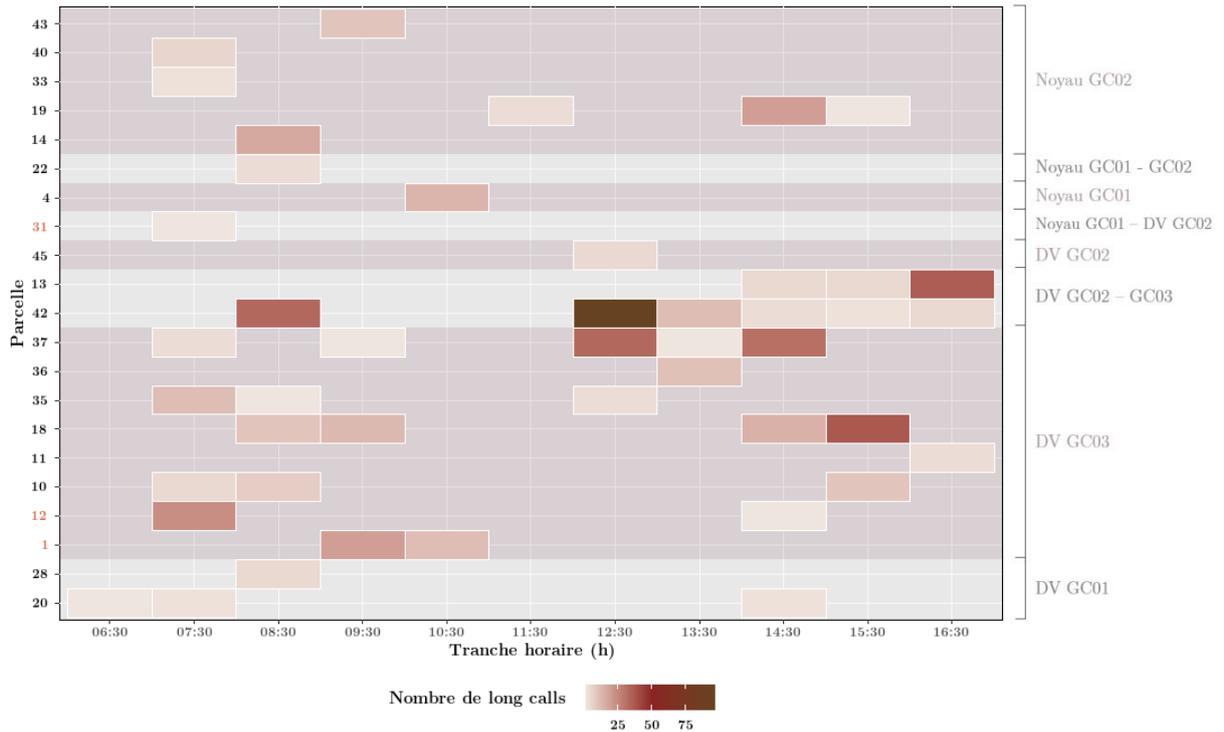
|                      | GC01  | GC02   | GC03   |
|----------------------|-------|--------|--------|
| Zone noyau (%)       | 65.38 | 17.61  | -      |
| Périphérie (%)       | 15.38 | 81.19  | -      |
| Domaine vital entier | 26 LC | 335 LC | 534 LC |

### 4. Analyse spatio-temporelle

#### 4.1. Description générale

La figure 16 permet de se représenter l'horaire d'émission des « long calls » au fil de la journée, par parcelle. Ainsi, on constate que le nombre le plus élevé de « long calls », dans la zone partagée entre le domaine vital des groupes GC02 et GC03 (parcelles 13 et 42), est émis majoritairement durant l'après-midi. Les « long calls » émis au sein du domaine vital du groupe GC03 semblent se répartir de manière plus homogène au cours de la journée. En ce qui concerne les « long calls » émis dans le domaine vital des groupes GC01 et GC02, ils sont davantage émis le matin. Aux zones de rencontres entre les groupes GC01 et GC03 (parcelles 22 et 31), les « long calls » se produisent uniquement en matinée, de 07:00 à 09:00. À première vue, le groupe GC03 semble donc vocaliser davantage l'après-midi, contrairement aux deux autres groupes.

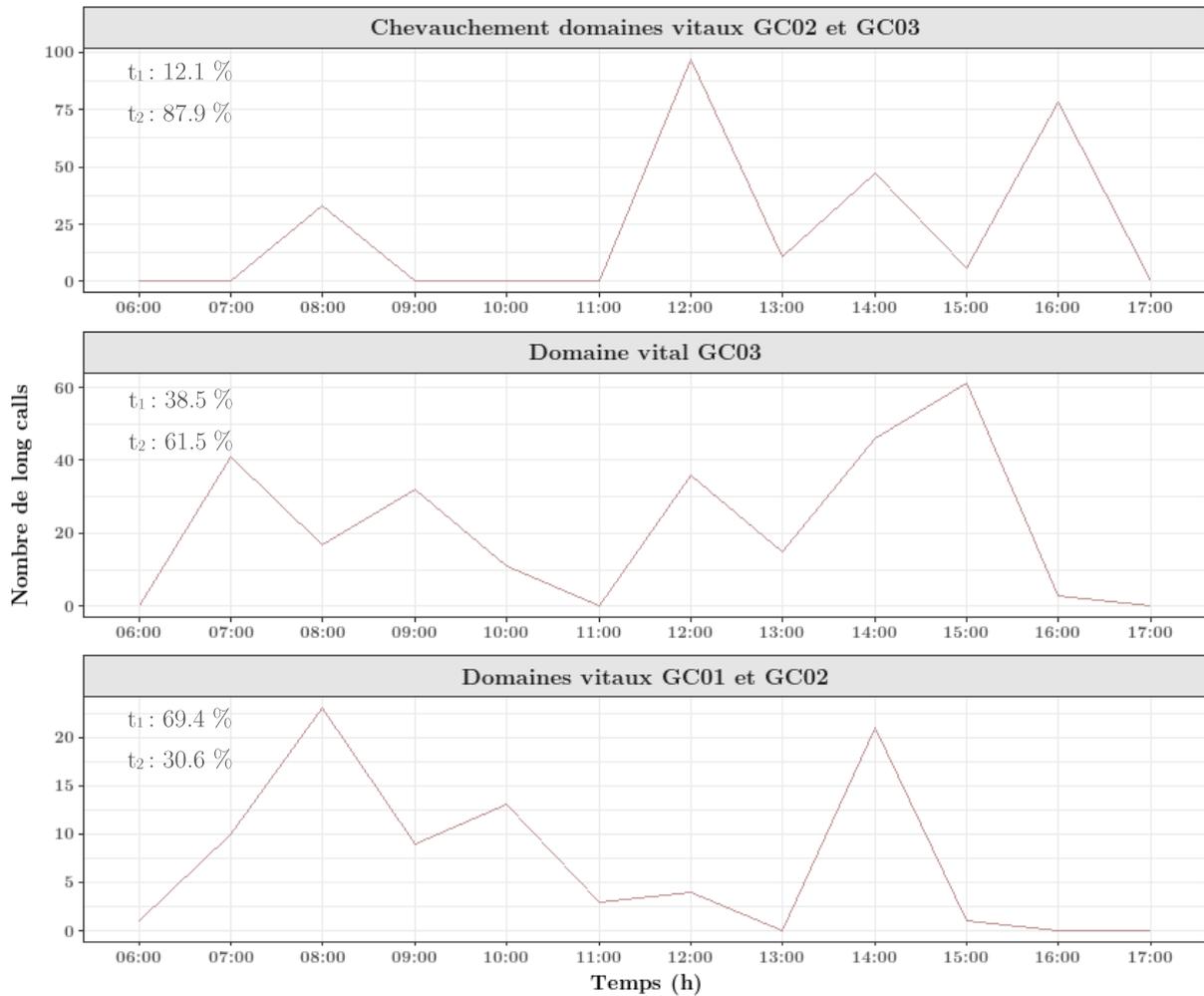
## RÉSULTATS



**Figure 16 :** Total de « long calls » enregistrés au sein des parcelles, au cours de la journée. Les parcelles sont classées en fonction de leur position au sein des différents domaines vitaux (DV) et zones noyaux (Noyau). Les numéros de couleur noire représentent des parcelles situées sur des plateaux tandis que les numéros de couleur orange désignent des parcelles en pente.

La figure 17 se concentre sur l'horaire journalier d'émission des « long calls » des 3 zones principales d'émission ; au sein de la zone de chevauchement des groupes GC02 et GC03, du domaine vital du groupe GC03, et des domaines vitaux des groupes GC01 et GC02. Les 3 zones ont été séparées en 2 tranches horaires ( $t_1 =$  de 06:00 à 11:59 ;  $t_2 =$  de 12:00 à 18:00). On peut donc confirmer que les LC se produisent en majorité le matin ( $t_1 = 69.4 \%$ ) dans les domaines vitaux des groupes GC01 et GC02. Au sein du domaine vital du groupe GC03 et de la zone de chevauchement entre les groupes GC02 et GC03, les LC sont davantage émis durant l'après-midi ( $t_2 = 61.5 \%$  et  $87.9 \%$ ).

## RÉSULTATS

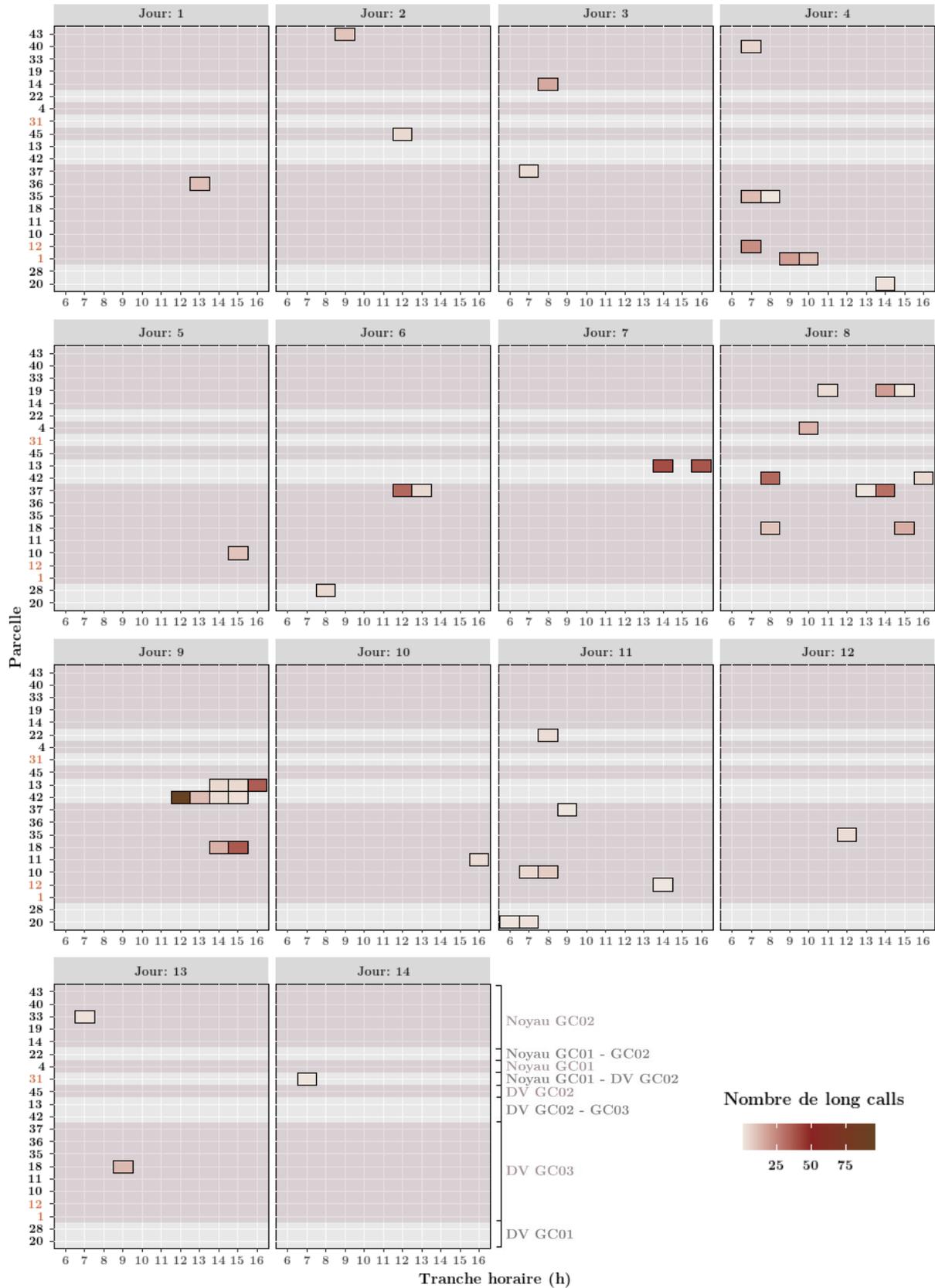


**Figure 17 :** Nombre de « long calls » émis au cours de la journée au sein de la zone de chevauchement des groupes GC02 et GC03, du domaine vital du groupe GC03, et des domaines vitaux des groupes GC01 et GC02, et leur distribution journalière ( $t_1$  = de 06:00 à 11:59 ;  $t_2$  = de 12:00 à 18:00).

### 4.2. Inférences sur l'identification des groupes

La figure 18 permet de se représenter les mouvements des TLCD entre les parcelles au fil des jours, durant la période d'enregistrement de 14 jours. Tout en connaissant les territoires approximatifs des 3 groupes, il est possible d'identifier, par l'emplacement de leurs « long calls », les différents groupes et leurs déplacements respectifs, voire les interactions entre ceux-ci. Ainsi, il est très probable d'avoir enregistré le groupe GC01 au jour 3, le groupe GC02 au jour 13, et le groupe GC03 au jour 2, 12, et 13. Il est toutefois impossible d'identifier avec certitude un groupe à partir de certains emplacements où ont été émis des « long calls », car ceux-ci se trouvent soit à la frontière entre deux groupes, soit au milieu du fragment, où il serait possible de rencontrer les 3 groupes (parcelles 10, 11).

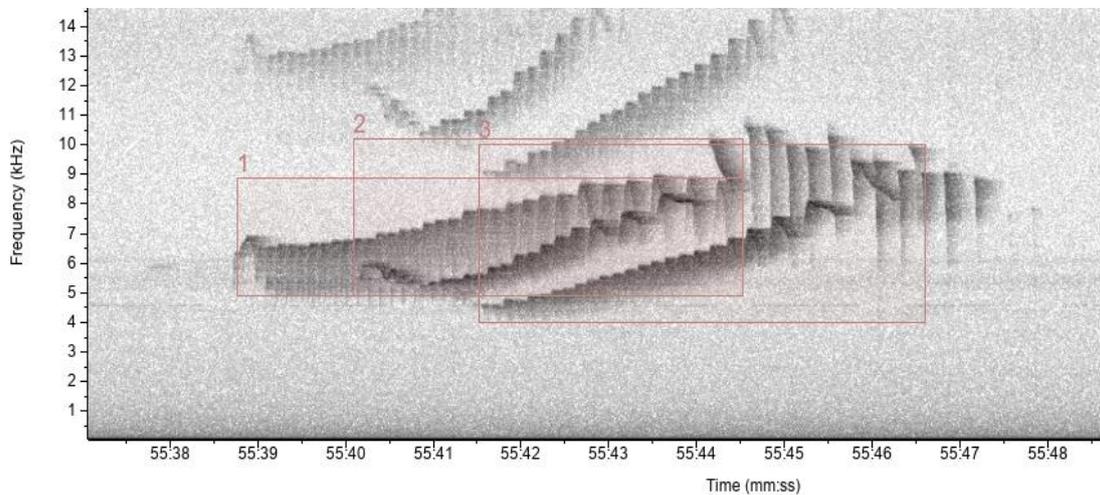
## RÉSULTATS



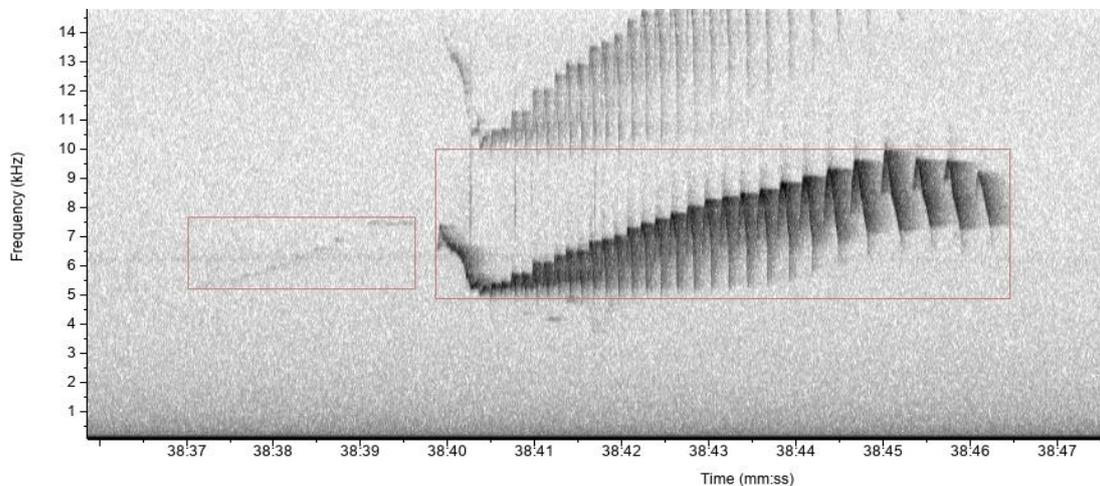
**Figure 18 :** Distribution des « long calls » au sein des parcelles, en fonction de l'heure et du jour, pendant la période d'enregistrement de 14 jours. L'axe x représente les tranches horaires d'une heure, commençant à 06:00 jusque 17:00. Les parcelles sont classées sur l'axe y en fonction de leur position au sein des différents domaines vitaux (DV) et zones noyaux (Noyau). Les numéros de couleur noire représentent des parcelles situées sur des plateaux tandis que les numéros de couleur orange désignent des parcelles en pente.

#### 4.3. Description de possibles interactions intergroupes

Il est arrivé que plusieurs LC aient été enregistrés au même moment, à quelques secondes près (Figure 19), ce qui pourrait représenter soit une interaction intergroupe qui aurait lieu au même endroit, soit un échange intragroupe. Afin d'améliorer le degré de certitude de telle ou telle possibilité, il est important d'examiner l'enregistrement complet. En effet, si ces situations apparaissent dans une suite de « long calls » pendant plusieurs minutes, il est plus probable qu'il s'agisse d'une interaction intergroupe. C'est d'autant le cas lorsqu'on rencontre des « long calls » de différentes puissances sonores comme représentés à la figure 20, qui témoignent de l'éloignement d'un émetteur par rapport à l'autre. Bien que cette situation rapporte vraisemblablement une interaction intergroupe, il pourrait tout aussi bien s'agir d'une communication entre deux membres d'un groupe séparés par la distance.



**Figure 19 :** Illustration de 3 « long calls » de tamarins-lions à croupe dorée par des boîtes de sélections différentes (1, 2 et 3). Émis à quelques secondes d'intervalle, ils peuvent montrer un échange intra- ou intergroupe au même endroit. Le premier « long call » est différent des deux autres, il est donc possible qu'ils aient des fonctions différentes. Les notes égales en forme et en durée se trouvant à une plus haute fréquence représentent des harmoniques de la fréquence fondamentale.

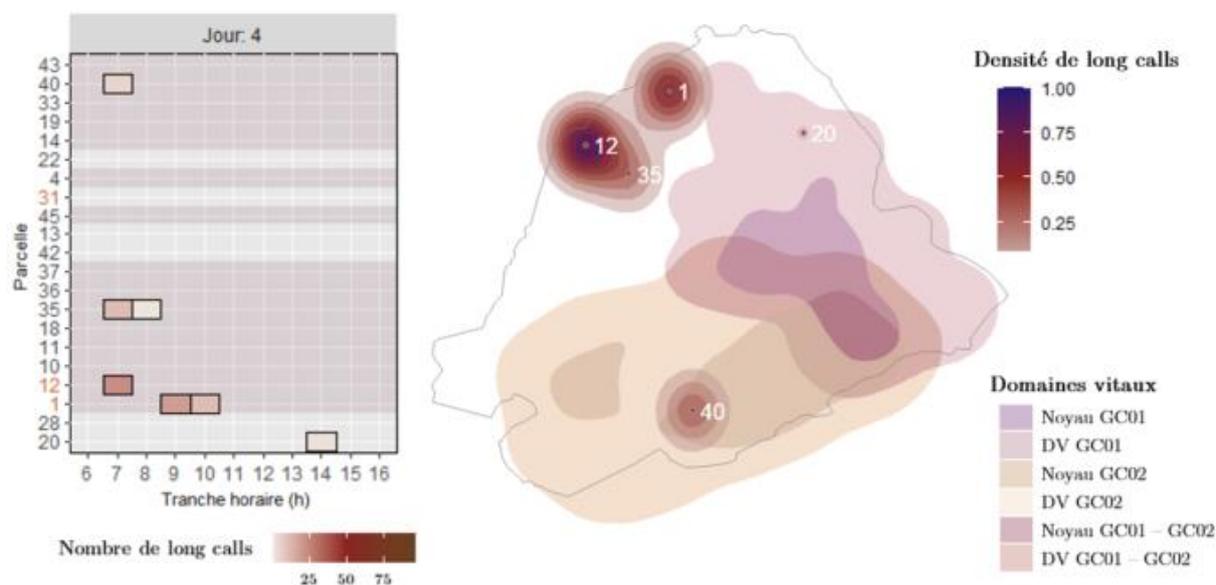


**Figure 20 :** Illustration d'un « long call » bien marqué de réponse à un autre « long call » plus éloigné.

Les paragraphes suivants illustrent de possibles interactions intergroupes en analysant les 3 jours où ont été émis le plus de « long calls ».

#### ☞ Jour 4

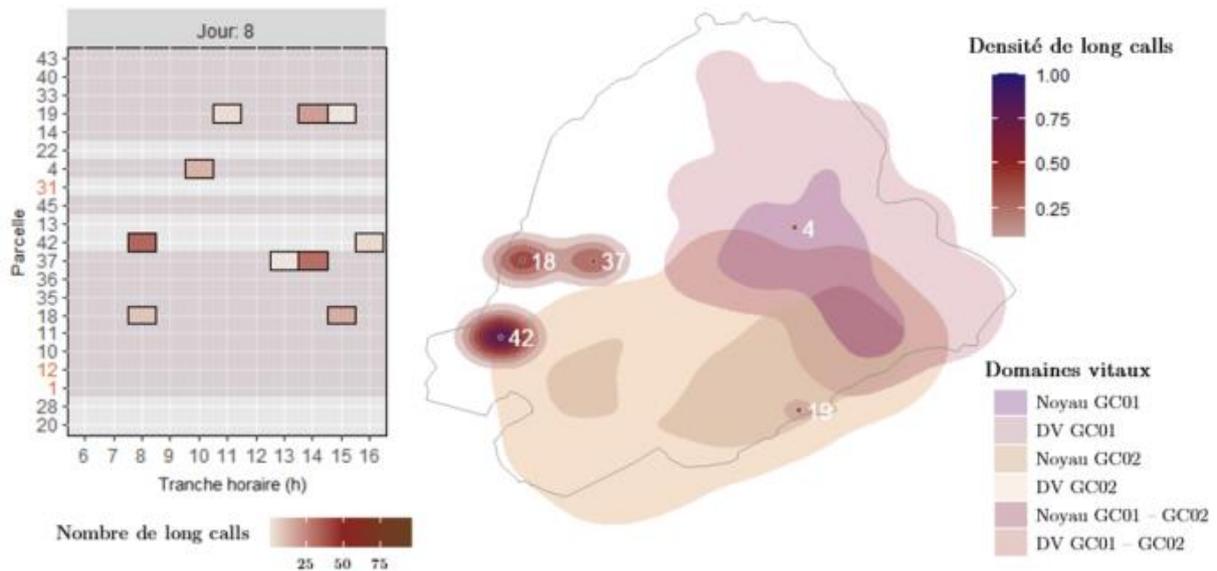
Durant la quatrième journée d'enregistrement, les ARUs ont enregistré des « long calls » au sein de 3 parcelles de 07:00 à 08:00 (Figure 21). Il aurait pu s'agir d'interactions entre le groupe GC02 (parcelle 40) et le groupe GC03 (parcelles 35 et 12) car 5 LC issus de la parcelle 40 et 5 autres de la parcelle 12 ont été émis en l'espace de 2 min. Cependant, ces 2 parcelles étant éloignées de plus de 750 m, il s'agissait sans doute d'une coïncidence. Le nombre assez élevé de LC (65 en tout) émis dans le territoire supposé du groupe GC03 pourrait s'expliquer par une interaction avec un autre groupe venant de l'extérieur du fragment. En effet, des TLCD ont déjà été vus traversant la route ainsi que la plantation d'eucalyptus au nord du fragment, afin d'atteindre un bras de forêt reliant d'autres morceaux de fragments. Il est donc probable qu'un autre groupe de TLCD, extérieur au fragment étudié, soit arrivé par ce bras de forêt et soit entré en interaction avec le groupe GC03, qui a défendu les limites nord de son territoire contre ces nouveaux venus. Le groupe GC03 s'est ainsi vraisemblablement déplacé entre la parcelle 35 et 12 de 07:00 à 08:00, puis jusqu'à la parcelle 1, d'où il aurait pu continuer sa défense territoriale jusque 11:00. Les 2 LC enregistrés de 14:00 à 15:00 sur la parcelle 20 semblent indépendants.



**Figure 21 :** Distribution spatio-temporelle des « long calls » au quatrième jour d'enregistrement. Le graphique de gauche montre le nombre de « long calls » en fonction des parcelles et au cours de la journée. Le graphique de droite représente spatialement ces « long calls » au sein du fragment, en fonction des différentes zones de territoire des groupes GC01 et GC02.

☞ Jour 8

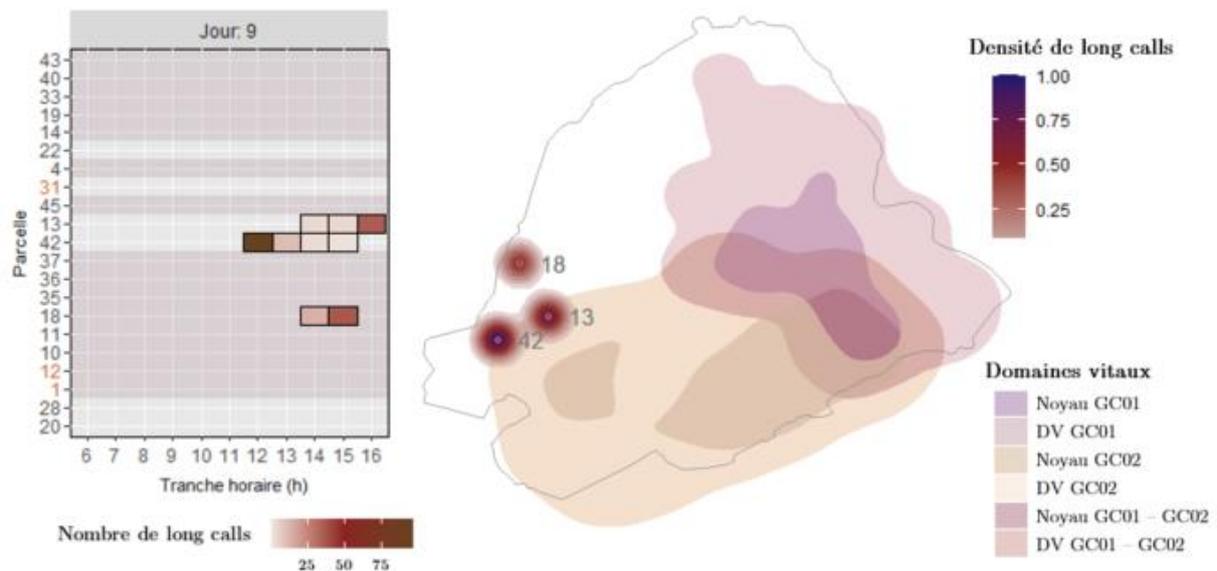
Au huitième jour, les trois groupes se sont probablement manifestés par des LC (Figure 22). Les manifestations des groupes GC01 (parcelle 4 ; 3 LC) et GC02 (parcelle 19 ; 13 LC) de 10:00 à 12:00 semblent isolées étant donné que les parcelles se trouvent à 500 m l'une de l'autre. En plus des 13 LC émis le matin, 20 autres se sont produits de 14:45 à 15:00 à la parcelle 19. Il est vraisemblablement possible que le groupe GC02 ait défendu son territoire face à l'arrivée d'autres TLCD extérieurs au fragment, par le bras de forêt relié au sud. De même que les nombreux LC (87 sur toute la journée) émis sur le territoire supposé du groupe GC03 pourraient montrer une interaction avec un autre groupe extérieur au fragment, qui aurait pu arriver par le bras de forêt relié à l'ouest du fragment. Néanmoins, cette hypothèse signifierait qu'il y ait eu 2 groupes extérieurs au fragment en un jour, et qu'ils soient restés une bonne partie de la journée.



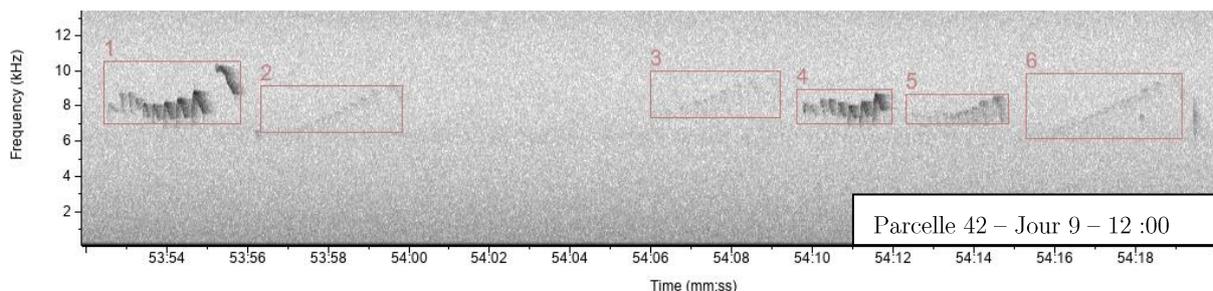
**Figure 22 :** Distribution spatio-temporelle des « long calls » au huitième jour d'enregistrement. Le graphique de gauche montre le nombre de « long calls » en fonction des parcelles et au cours de la journée. Le graphique de droite représente spatialement ces « long calls » au sein du fragment, en fonction des différentes zones de territoire des groupes GC01 et GC02.

## ☞ Jour 9

Le groupe GC03 semble avoir émis beaucoup de « long calls » au cours du neuvième jour (Figure 23). Les parcelles 13 et 42 se trouvant vraisemblablement à l'intersection du domaine vital des groupes GC02 et GC03, des interactions intergroupes auraient pu y avoir lieu. Ainsi, de 12:00 à 13:00, il y a probablement eu des échanges entre les groupes GC02 et GC03 à proximité de la parcelle 42 (Figure 24), avec 97 LC recensés en 15 minutes. De plus, la figure 25 indique également un échange de LC à partir des parcelles 18 et 42 peu après 14:00. Cependant, en analysant les spectrogrammes, on remarque que les enregistreurs des parcelles 13 et 42 semblent avoir enregistré les mêmes LC (Figure 26). Ce qui est plausible étant donné que ces deux ARUs ne sont distants que de 130 m et que les LC peuvent se propager jusqu'au moins 70 m. À priori, les deux groupes étaient présents à proximité de ces trois parcelles, mais il est cependant difficile de les différencier alors qu'ils se trouvent tous deux à proximité de leur territoire.

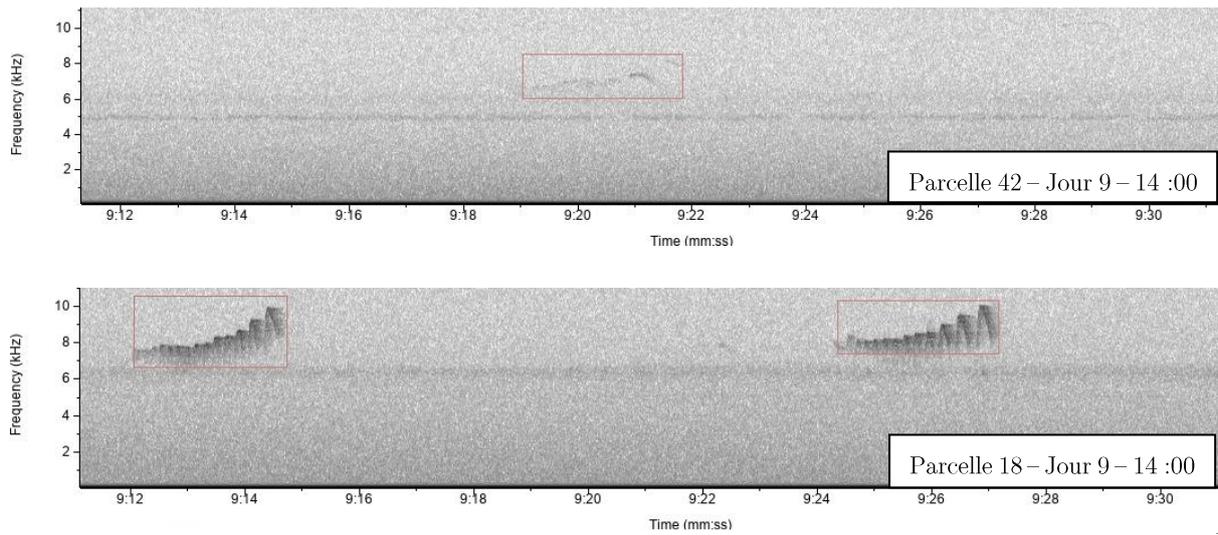


**Figure 23 :** Distribution spatio-temporelle des « long calls » au neuvième jour d'enregistrement. Le graphique de gauche montre le nombre de « long calls » en fonction des parcelles et au cours de la journée. Le graphique de droite représente spatialement ces « long calls » au sein du fragment, en fonction des différentes zones de territoire des groupes GC01 et GC02.

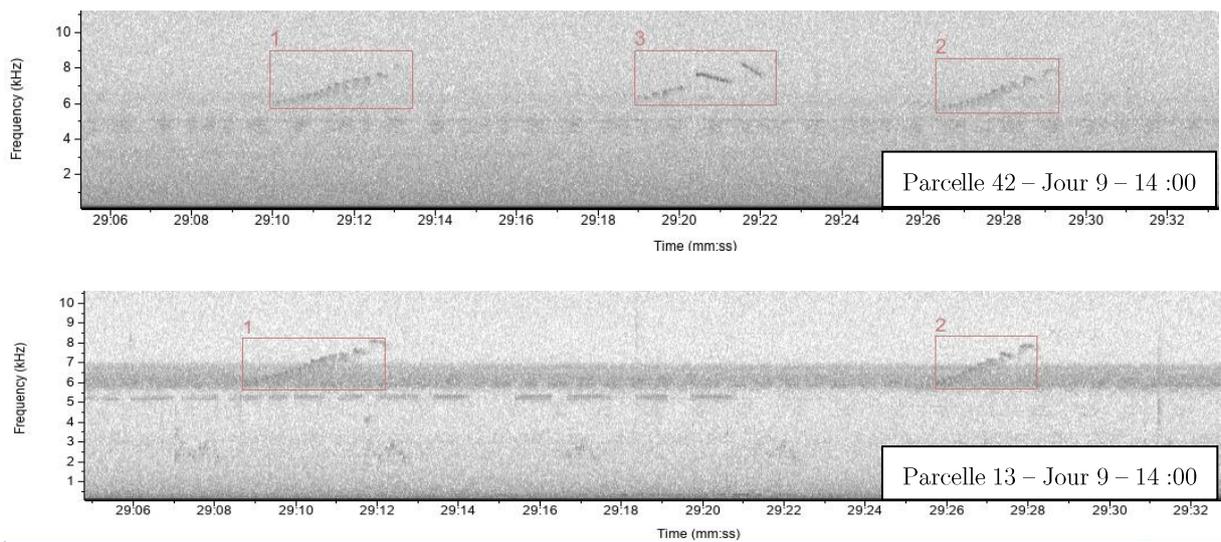


**Figure 24 :** Spectrogramme de l'enregistrement de la parcelle 42, le neuvième jour de 12:53:52 à 12:54:20, représentant 6 « long calls » de différentes puissances sonores.

## RÉSULTATS



**Figure 25 :** Spectrogrammes des enregistrements des parcelles 18 et 42, le neuvième jour de 14:09:12 à 14:09:30, représentant un échange potentiel de « long calls ».



**Figure 26 :** Spectrogrammes des enregistrements des parcelles 13 et 42, le neuvième jour de 14:29:07 à 14:29:32, représentant 2 mêmes « long calls » (1 et 2) enregistrés à partir d'enregistreurs différents.

## II. Caractérisation de la végétation

Au total, ce sont 1967 arbres qui ont été mesurés. En moyenne, un arbre possède 1.18 tronc. Les 24 nouvelles parcelles ont permis de dénombrer 11 nouvelles espèces issues de 3 familles (Solanaceae, Arecaceae, Burseraceae), ce qui rapporte le total du fragment à 164 espèces, de 41 familles. Les familles prédominantes sont Myrtaceae (32 espèces) et Fabaceae (27 espèces). La densité moyenne est de 1457 ( $\pm$  295) arbres à l'hectare. La hauteur moyenne équivaut à 7.8 ( $\pm$  1.2) m, et atteint un maximum de 30 m (*Bastardiopsis densiflora*). Quant à la surface terrière moyenne, celle-ci est égale à 27.3 ( $\pm$  12.1) m<sup>2</sup>/ha, avec un diamètre maximum de 88 cm (*Ceiba speciosa*).

Au niveau des ressources alimentaires, on retrouve 29 espèces d'arbres dont les fruits sont consommés par le TLCD, avec 526 individus sur le total de 1967 arbres mesurés (26.7 %). Les espèces les plus représentées sont *Trichilia catigua* (204 ind.), *Trichilia clausenii* (77 ind.) et *Syagrus romanzoffiana* (29 ind.). Quant aux arbres en fruits, il n'y en a eu que 50 individus, dont uniquement 9 sont des espèces dont le TLCD consomme les fruits (Tableau 6). Ainsi, seulement 4 espèces consommées étaient en fruit, et ce dans 8 parcelles différentes (Tableau 7). Aucun fruit mature n'a été relevé au sein des espèces dont le tamarin consomme les fruits. Le test t de Student conduit sur les relevés phénologiques séparés d'un mois d'intervalle n'a pas révélé de différence significative entre les deux, que soit au niveau des fruits matures ou immatures (p-valeur = 0.99 et 0.17).

**Tableau 6 :** Résultats des relevés phénologiques concernant les fruits immatures et matures des arbres fruitiers au sein du fragment. Les espèces consommées par le tamarin-lion à croupe dorée (*Leontopithecus chrysopygus*) en fruit sont minoritaires en comparaison de toutes les espèces confondues.

|   | Fruits immatures | Fruits matures | Total |
|---|------------------|----------------|-------|
| <b>Toutes espèces confondues</b>                                |                  |                |       |
| Nombre d'arbres   | 46               | 7              | 50    |
| Nombre de parcelles   | 16               | 5              | 18    |
| Nombre d'espèces  | 14               | 3              | 15    |
| <b>Espèces consommées par <i>Leontopithecus chrysopygus</i></b> |                  |                |       |
| Nombre d'arbres   | 9                | 0              | 9     |
| Nombre de parcelles   | 8                | 0              | 8     |
| Nombre d'espèces  | 4                | 0              | 4     |

**Tableau 7** : Calcul du « Fruit Availability Index » (FAI) en fruits immatures pour chaque arbre fruitier consommé par les tamarins-lions à croupe dorée, en fruit recensé dans chaque parcelle, et par hectare. Seule la parcelle 44 contenait deux individus en fruit.

| Parcelle | Espèce                        | FAI    | FAI/ha  |
|----------|-------------------------------|--------|---------|
| 20       | <i>Syagrus romanzoffiana</i>  | 264.85 | 8828.33 |
| 39       | <i>Syagrus romanzoffiana</i>  | 214.86 | 7162    |
| 44       | <i>Trichilia pallida</i>      | 25.78  | 3545    |
| 44       | <i>Syagrus romanzoffiana</i>  | 80.57  |         |
| 9        | <i>Campomanesia guaviroba</i> | 42.31  | 1410.33 |
| 38       | <i>Syagrus romanzoffiana</i>  | 81.49  | 2716.25 |
| 25       | <i>Syagrus romanzoffiana</i>  | 80.98  | 2699.33 |
| 14       | <i>Syagrus romanzoffiana</i>  | 62.63  | 2087.75 |
| 15       | <i>Randia armata</i>          | 5.03   | 167.67  |

Concernant les lianes, le fragment atteint un total de 21 familles, avec une majorité de Bignoniaceae (100 % des parcelles) et Sapindaceae (91 %, 41/45). Quatre familles n'apparaissent qu'une fois : Cucurbitaceae, Loganiaceae, Rhamnaceae et Passifloraceae. Le nombre d'espèces maximum déterminé au sein d'une parcelle est de 12, mais 5 parcelles en ont au moins 10. Le volume moyen en lianes du fragment est de 46.68 ( $\pm 25.95$ ) % et 6 parcelles ont un volume moyen de plus de 85 %, avec au minimum 6 espèces différentes.

Le fragment contient 4 des 7 espèces connues dont les TLCN consomment les fruits. L'espèce la plus représentée est *Pereskia aculeata* avec 46 individus dans 16 parcelles, puis *Celtis iguanaeae* avec 12 individus dans 11 parcelles, *Cissus sucicaulis* avec 5 individus au sein de 4 parcelles et *Doliocarpus dentatus* avec 5 individus dans 3 parcelles. *Celtis spinosa* n'apparaît plus au sein de l'état de São Paulo tandis qu'il y a peu de relevés d'*Abuta selleana* et *Mendoncia velloziana* au sein de l'état, celles-ci se rencontrant davantage au sein de forêts plus humides.

### III. Relation entre « long calls » et caractéristiques écologiques

#### 1. Effets de la structure de la forêt

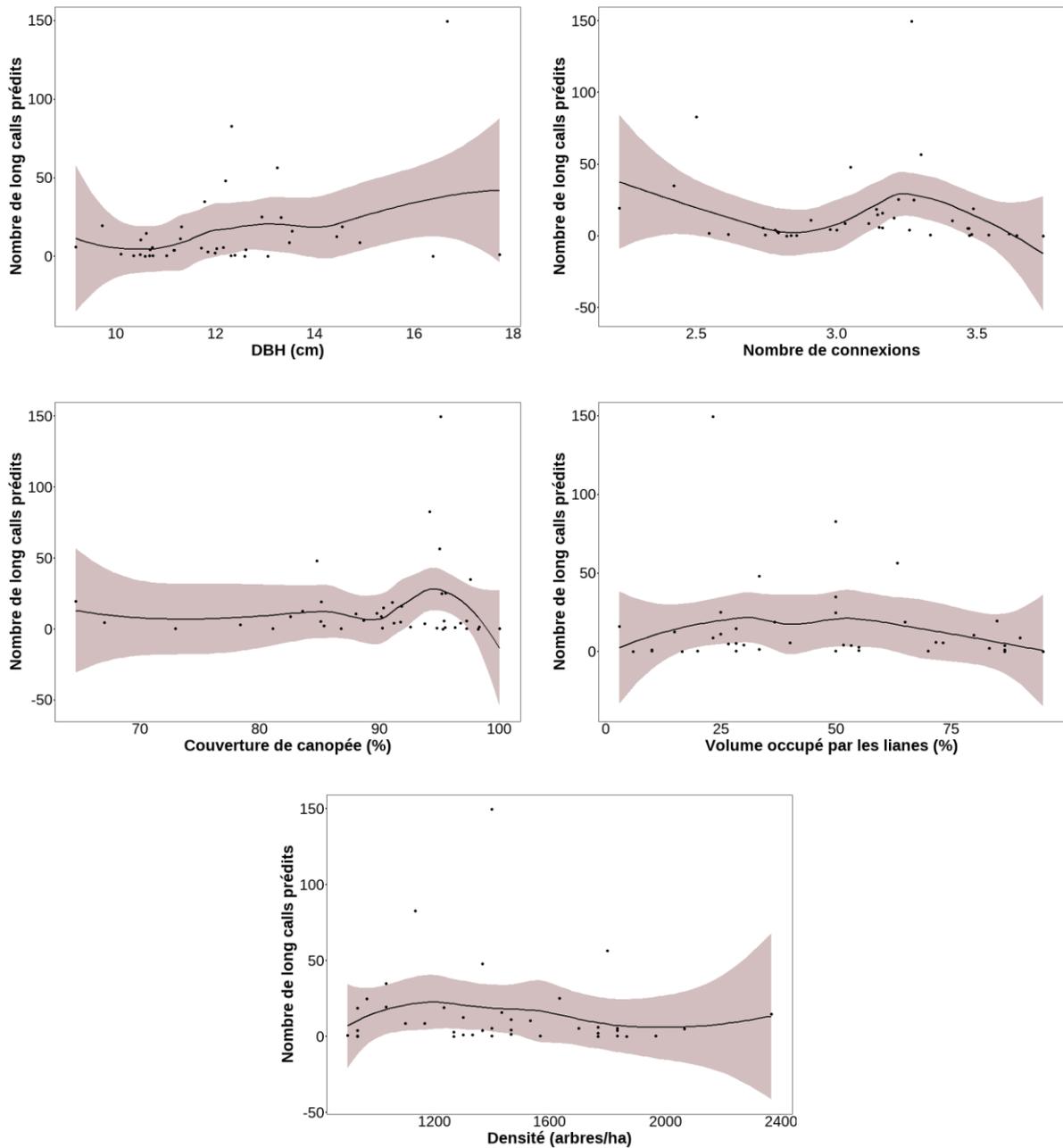
Le meilleur modèle GAM était celui composé de toutes les variables de structure disponibles. Les résultats de ce modèle indiquent que le diamètre à hauteur de poitrine (DBH), le nombre de connexions, la couverture de canopée, le volume occupé par les lianes ainsi que la densité sont très hautement significativement ( $p$ -valeur =  $<2e-16$ ) liés au nombre de LC (Tableau 8). La répartition de la variance est de respectivement 62.53 %, 21.86 %, 6.98 %, 5.41 % et 3.21 %. La hauteur de la première branche, non significative ( $p$ -valeur = 0.118), n'a pas été gardée pour la suite des analyses.

Ainsi, le DBH est la variable qui impacte le plus le nombre de LC. La figure 27 indique une augmentation du nombre de LC en fonction de zones où les arbres ont en moyenne un diamètre plus élevé. Les 4 autres variables suivent un modèle plus nuancé. Il y a plus de LC dans les zones où le nombre de connexions est en moyenne faible ou modérément élevé, où la couverture de canopée est en moyenne presque à son maximum, où le volume moyen occupé par les lianes se situe environ entre 25 et 75 %, ainsi qu'où la densité vaut en moyenne environ 1200 à 1600 arbres à l'hectare. Le test de dispersion a révélé que les résidus du modèle n'étaient pas dispersés ( $\alpha = 0.15$  ;  $z = 0.22$  ;  $p$ -valeur : 0.41).

**Tableau 8 :** Paramètres du modèle GAM concernant les variables de structure, pour prédire le nombre de « long calls ». DBH = moyenne du diamètre à hauteur de poitrine (cm) ; density = densité moyenne (arbres/ha) ; canopy\_cover = moyenne de la couverture de canopée (%) ; connections = moyenne du nombre de connexions ; liana\_cover = volume moyen occupé par les lianes (%) ; height\_first\_branch = moyenne de la hauteur de la première branche (m).

| <b>Parametric coefficients</b>                  |          |                             |         |          |
|---|----------|-----------------------------|---------|----------|
|   | Estimate | Std. Error                  | z value | Pr(> z ) |
| (Intercept)                                     | 1.3619   | 0.1074                      | 12.68   | <2e-16   |
| <b>Approximate significance of smooth terms</b> |          |                             |         |          |
|   | edf      | Ref.df                      | Chi.sq  | p-value  |
| s (DBH)   | 2.864    | 2.982                       | 101.146 | <2e-16   |
| s (density)                                     | 2.899    | 2.988                       | 57.444  | <2e-16   |
| s (canopy_cover)                                | 2.961    | 2.996                       | 106.169 | <2e-16   |
| s (connections)                                 | 2.990    | 3.000                       | 254.816 | <2e-16   |
| s (liana_cover)                                 | 2.918    | 2.990                       | 110.927 | <2e-16   |
| s (height_first_branch)                         | 2.022    | 2.375                       | 3.763   | 0.118    |
| R-sq. (adj) = 0.742                             |          | Deviance explained = 68.4 % |         |          |
| -REML = 362.12                                  |          | Scale est. = 1              |         | n = 41   |

## RÉSULTATS



**Figure 27 :** Déterminants écologiques de l'émission de « long calls » par les tamarins-lions à croupe dorée. Les graphiques représentent la relation entre le nombre de « long calls » prédit en fonction du GAM (axes y) et des 5 déterminants écologiques (axes x) qui ont montré une relation significative avec le nombre de « long calls ».

## 2. Effets des ressources alimentaires

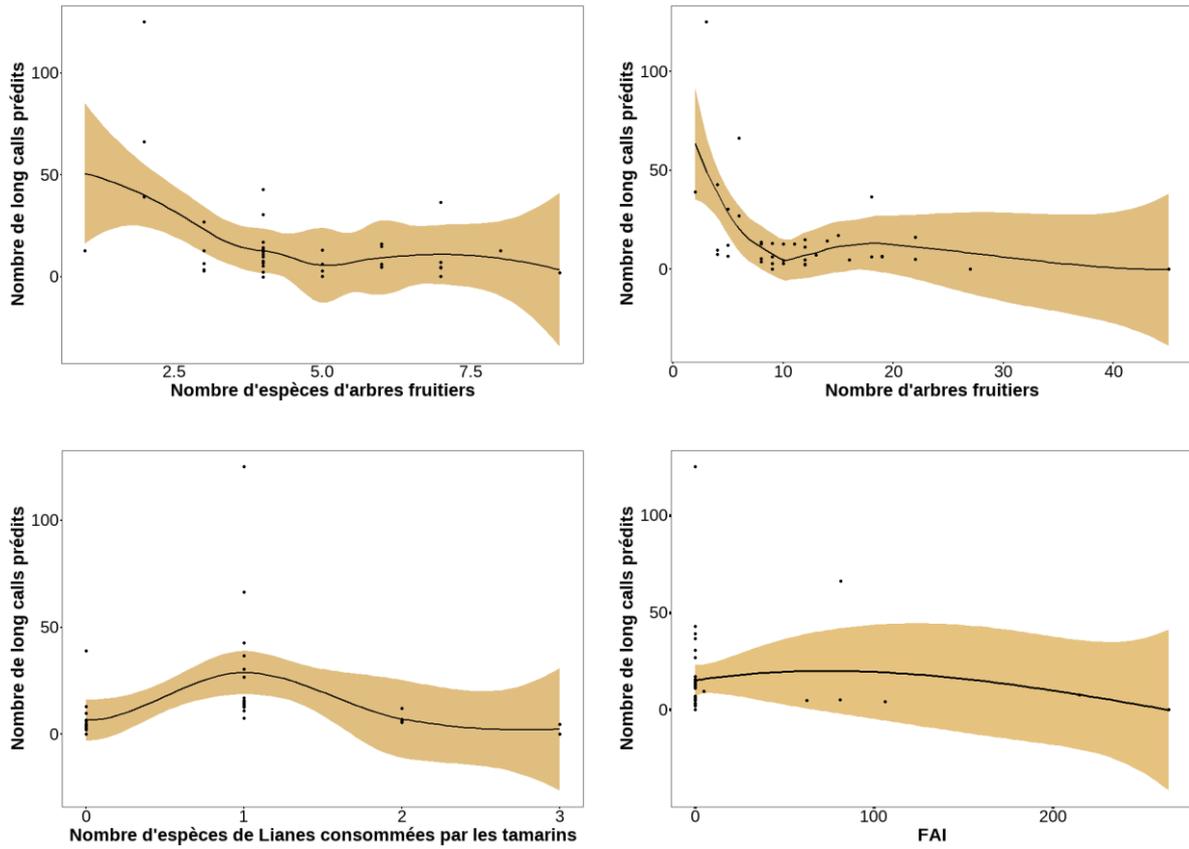
Le meilleur modèle GAM était celui comprenant le nombre d'espèces et d'individus d'arbres fruitiers ainsi que d'espèces de lianes, dont les TLCD consomment les fruits, et le FAI des fruits immatures. Ce modèle indique que toutes ces variables sont très hautement significativement liées au nombre de LC (Tableau 9). La répartition de la variance est de respectivement 52.53 %, 37.66 %, 6.51 % et 3.30 %.

Ainsi, c'est la présence d'arbres fruitiers qui expliquent le mieux le nombre de LC. Ce dernier est plus élevé dans les parcelles avec peu d'espèces et d'individus d'arbres fruitiers, avec une seule espèce de liane, ainsi qu'avec peu de fruits immatures (Figure 28). En regard de la répartition de la variance, l'émission de LC est davantage influencée par les ressources alimentaires toujours disponibles, à savoir les arbres fruitiers et les lianes présentes dans le fragment, plutôt que par les ressources immédiates, la disponibilité en fruits. Le test de dispersion a révélé que les résidus du modèle étaient dispersés ( $\alpha = 0.63$  ;  $z = 1.80$  ;  $p$ -valeur : 0.036).

**Tableau 9** : Paramètres du modèle GAM concernant les variables de ressources alimentaires, pour prédire le nombre de « long calls ». fruit\_trees\_number = nombre d'arbres fruitiers consommés par les tamarins ; fruit\_trees\_sp = nombre d'espèces d'arbres fruitiers consommés par les tamarins ; sp\_lianas\_consumed = nombre d'espèces de lianes consommées par les tamarins = FAI\_imm : somme des valeurs de disponibilité en fruits immatures.

| <b>Parametric coefficients</b>                  |          |                            |         |          |
|---|----------|----------------------------|---------|----------|
|   | Estimate | Std. Error                 | z value | Pr(> z ) |
| (Intercept)                                     | 0.6381   | 0.2644                     | 2.413   | 0.0158   |
| <b>Approximate significance of smooth terms</b> |          |                            |         |          |
|   | edf      | Ref.df                     | Chi.sq  | p-value  |
| s (fruit_trees_number)                          | 2.957    | 2.998                      | 152.79  | <2e-16   |
| s (fruit_trees_sp)                              | 2.832    | 2.976                      | 49.48   | <2e-16   |
| s (sp_lianas_consumed)                          | 2.881    | 2.988                      | 233.47  | <2e-16   |
| s (FAI_imm)                                     | 1.967    | 1.999                      | 29.29   | 1.19e-06 |
| R-sq. (adj) = 0.419                             |          | Deviance explained = 46.8% |         |          |
| -REML = 537.32                                  |          | Scale est. = 1             |         | n = 41   |

## RÉSULTATS



**Figure 28 :** Déterminants des ressources alimentaires de l'émission de « long calls » par les tamarins-lions à croupe dorée. Les graphiques représentent la relation entre le nombre de « long calls » prédit en fonction du GAM (axes y) et des 4 déterminants alimentaires (axes x) qui ont montré une relation significative avec le nombre de « long calls ».

## DISCUSSION

### *Analyse temporelle des « long calls »*

Contrairement aux prédictions, la majorité des LC n'est pas émise le matin, mais l'après-midi. Ce résultat entre en contradiction avec les données existantes sur les tamarins-lions (Peres, 1989 ; Bury, 2020). Par contre, Peres (1989) distingue les rencontres face à face, des rencontres à longue distance. Les premières se caractérisent par des LC émis tôt le matin, tandis que ceux émis lors des deuxièmes surviennent toute la journée. Néanmoins, les tranches horaires contenant le plus de LC, et ce de même puissance sonore, et donc plus susceptible de décrire une rencontre intergroupe face à face, apparaissent davantage l'après-midi dans notre étude.

Néanmoins, il s'agit de la moyenne relative aux trois groupes. Quand on analyse la répartition des LC au cours de la journée en fonction des sources d'émission, il est possible d'attribuer approximativement les LC aux différents groupes. Ainsi, c'est sans doute le groupe GC03 qui influence la tendance moyenne à émettre plus de LC l'après-midi. C'est en effet ce groupe qui a le plus vocalisé, et ce durant l'après-midi. Les groupes GC01 et GC02 ont émis des LC dans une moindre mesure, mais en majorité le matin. L'étude de Bury (2020), qui démontre que les LC sont majoritairement émis le matin, concernait uniquement le groupe GC01. Or, ce groupe semble effectivement vocaliser davantage en matinée.

Van Belle et al. (2013) ont constaté que la distribution journalière des cris du singe hurleur du Guatemala (*Alouatta pigra*) apparaissait de manière hétérogène en fonction du type de cri et du groupe. Ainsi, bien que les cris de réponses ou relatifs aux rencontres intergroupes semblent survenir majoritairement le matin, les cris spontanés peuvent être davantage émis l'après-midi, en fonction des différents groupes. Il était significativement plus probable que des cris soient émis le matin, mais il n'y avait pas de différence significative entre la probabilité d'émettre ces cris tôt le matin par rapport au reste de la journée (Van Belle et al., 2013). Toujours selon Van Belle et al. (2013), les cris de rencontres intergroupes ont eu lieu de manière aléatoire au cours de la journée, et ce pour les 3 groupes suivis. Il est donc possible que les 3 groupes de TLCD enregistrés à Guareí aient des habitudes de vocalisations différentes et que la différence entre les moments d'émission de leurs LC doive être nuancée selon la fonction de ces derniers. En effet, les différentes phrases des LC n'ayant pas été identifiées, il est possible que, selon leurs fonctions – défense territoriale ou cohésion du groupe – le moment d'émission diffère. Bury (2020) ayant relevé une majorité de rencontres intergroupes le matin, il est donc probable que les LC relatifs à la défense territoriale se manifestent plutôt en matinée, alors que les LC ayant d'autres fonctions pourraient être émis à n'importe quel moment de la journée.

Aussi, la raison souvent énoncée pour justifier une majorité de cris tôt le matin est que la propagation du son y est optimale (Waser & Waser, 1977). Cependant, d'après Snowdon et al. (1989), les Callitrichidae étant des primates de petite taille avec des domaines vitaux assez restreints en comparaison d'espèces plus grandes, il serait raisonnable de penser que la transmission à longue distance de leurs cris ne soit pas autant importante pour eux. Les TLCD de notre site d'étude possèdent en moyenne un domaine vital de 51 ha et nous avons déterminé que la distance maximale de propagation de leur LC était de 81 m. Les cris du singe hurleur, en comparaison, peuvent se transmettre jusqu'à 500-1000 m (Van Belle et al., 2013). Par ailleurs, Snowdon & Hodun (1981) ont constaté que la plupart des cris de ouistitis pygmées (*Cebuella pygmaeae*) se trouvent à une fréquence supérieure à 8 kHz, où il n'existe que peu de compétition par rapport au bruit ambiant. Le ouistiti pygmée utiliserait donc des fenêtres acoustiques dans le bruit ambiant de la forêt. Ainsi, la plupart des Callitrichidae possèdent des cris aigus, ce qui défavorise leur propagation à travers la forêt tropicale, mais leur permet de se libérer un champ acoustique du spectre afin de se faire entendre plus facilement au sein de leur espèce, capable d'entendre les hautes fréquences (Snowdon et al., 1989). De fait, les LC analysés lors de cette étude à l'aide des spectrogrammes étaient émis la plupart du temps sans recouvrement d'autres sons, ces derniers se trouvant dans les plus basses fréquences du spectre. Il est donc possible que les tamarins-lions, tout comme les autres Callitrichidae, n'aient pas la nécessité de tenir compte des conditions d'une propagation de son optimale, en fonction de l'heure de la journée, étant donné que leurs adaptations en termes de fréquence leur déjà donnent un avantage compétitif suffisant sur les autres espèces.

Enfin, l'heure moyenne de sortie et de rentrée du site dortoir énoncé par Bury (2020) au sein de cette même aire d'étude est de respectivement 07:16 et 16:32. Or, de 06:00 à 07:00 un seul LC a été détecté (06:59), et aucun de 17:00 à 18:00. L'horaire journalier semble donc être approximativement semblable.

### ***Analyse spatiale des « long calls »***

Les résultats obtenus semblent confirmer notre hypothèse de départ selon laquelle la majorité des LC se présenteraient aux frontières des domaines vitaux supposés des TLCD. C'est le cas pour les groupes GC02 et GC03. Il est donc probable que ces deux groupes fassent preuve d'un comportement très territorial entre eux, et que la zone en périphérie de leur domaine vital, où se concentrent la majorité des LC, soit particulièrement importante en termes de ressources. Le comportement de ces deux groupes semble ainsi correspondre à la stratégie territoriale du tamarin-lion doré observé par Peres (1989).

D'un autre côté, avec 534 LC émis (86.2 %) sur le territoire supposé du groupe GC03, celui-ci est de loin le groupe ayant le plus vocalisé. Une explication à cette observation pourrait résider dans le fait que le groupe GC03 est plus actif dans son comportement territorial. Il semble en effet que, si l'on évalue la distribution des domaines vitaux au sein du fragment, les groupes GC01 et GC02 soient relativement bien installés étant donné que le domaine vital de chacun mesure environ la moitié de la surface du fragment. Il se pourrait donc que le groupe GC03 se retrouve reclus dans la bande nord-ouest du fragment et qu'il fasse preuve de davantage de comportements de territorialité que les autres groupes, si le territoire qui lui est cédé ne lui est pas suffisant. De plus, ce groupe semble émettre plus de LC en périphérie de son territoire, au bord du fragment, ce qui pourrait être expliqué par des interactions avec des groupes extérieurs au fragment.

Le groupe GC01, à contrario, semble avoir émis davantage de LC au sein du centre de son domaine vital, plutôt qu'à sa périphérie. Les résultats de Bury (2020) témoignaient déjà que ce groupe n'avait pas vocalisé davantage en périphérie par rapport au centre. Il est donc possible qu'il y ait une divergence de plus entre les habitudes des groupes. La répartition des LC au sein du fragment ne semble pas montrer d'interactions entre les groupes GC01 et GC02 ou GC01 et GC03. Il semble en effet que le groupe GC01 soit resté au sein de son domaine vital, voire de son centre, alors que les résultats illustrent clairement des interactions entre les groupes GC02 et GC03, ainsi qu'une plus grande mobilité de leur part.

Les données recueillies pour le groupe GC01 semblent coïncider avec une stratégie d'avertissements d'occupation de l'espace (da Cunha & Byrne, 2006 ; Van Belle et al., 2013). Ce groupe pourrait donc émettre des « long calls » au fur et à mesure de leurs déplacements au sein de leur domaine vital, afin de prévenir les groupes voisins de leur présence. Ce mécanisme permettrait d'expliquer l'émission de LC dans l'ensemble du domaine vital et non majoritairement le long de ses frontières.

Une explication complémentaire pourrait résider dans le fait que le groupe GC01 n'a pas d'intérêts à aller défendre la périphérie de son domaine vital si la majeure partie des ressources se trouve en son centre (Robinson, 1979). En effet, 25 % des individus d'arbres fruitiers du fragment étudié se trouvent au sein de la zone noyau de ce groupe, ce qui représente une grande part des ressources alimentaires disponibles. D'ailleurs, Wranghan et al. (2007) affirme que le chimpanzé, le sapajou capucin, et le cercopithèque asagne sous-utilisent les zones de chevauchement.

*Effets des variables structurelles de la forêt sur l'occurrence des « long calls »*

Les résultats relevant de l'effet des variables écologiques de structure de la forêt sur l'émission des LC ne corroborent qu'en partie nos hypothèses de départ, à savoir une corrélation positive entre la densité, le diamètre, la couverture de canopée, le nombre de connexions de la canopée, la hauteur de la première branche, ainsi que le volume occupé par les lianes.

Ainsi, c'est le diamètre moyen à hauteur de poitrine des arbres présents dans les parcelles qui impacte le plus positivement l'émission de LC. La hauteur totale ainsi que le diamètre de canopée étant corrélés au diamètre, on peut en conclure que les TLCD émettent plus de LC lorsqu'ils se trouvent à proximité de larges arbres de grande envergure. Étant donné qu'une des fonctions des LC est territoriale (Snowdon et al., 1986), il est également possible d'en déduire que les TLCD défendent ces zones. La défense des arbres de grands diamètres peut s'expliquer de différentes manières. Les LC permettraient aux TLCD de défendre leurs ressources (Snowdon et al., 1986). Celles-ci peuvent représenter des ressources alimentaires, tout comme des sites dorts. Or, les tamarins-lions semblent préférer les arbres avec un large diamètre afin d'y établir leur site dorts (Day et Elwood, 1999 ; Hankerson et al., 2007). En outre, les arbres de large diamètre sont généralement des arbres plus matures, plus aptes à donner des fruits et en plus grande quantité.

La densité, bien qu'expliquant dans une moindre mesure l'émission des LC, ne confirme qu'à moitié notre hypothèse de départ selon laquelle le nombre de LC devrait être négativement corrélé à la densité moyenne de tiges. En effet, le nombre de LC augmente jusqu'à une densité d'environ 1200 arbres/ha pour ensuite descendre légèrement avec l'augmentation de la densité. Si les TLCD défendent les zones où les arbres ont en moyenne un diamètre plus élevé, il semble cohérent que la densité de tiges devienne de plus en plus faible à mesure que les diamètres augmentent. De plus, une densité de tige élevée peut indiquer un nombre important d'arbres tombés, ainsi que davantage de trouées dans la canopée (Schwarzkopf & Rylands, 1988), caractéristique que les TLCD ne semblent pas privilégier.

En effet, les résultats concernant la couverture de canopée corroborent notre hypothèse de départ. Les LC sont plus nombreux dans des zones où la couverture de canopée moyenne est très élevée. Une canopée plus dense et continue pourrait représenter une protection contre les prédateurs (Cheyne et al., 2013 ; Day et Elwood, 1999 ; Rylands, 1986) ainsi qu'un moyen de déplacement plus aisé. De plus, les canopées fermées contiendraient davantage d'humidité et de microhabitats essentiels pour les petites proies animales que consomment les tamarins-lions (Dietz et al., 1997 ; Rylands, 1986).

Le nombre de LC est maximal lorsque le volume moyen occupé par les lianes se situe approximativement entre 30 et 50 %, ce qui soutient notre prédiction de départ selon laquelle ce volume serait modéré. La couverture de liane est plus élevée dans les zones contenant des trouées et de la régénération (Rovero & Struhsaker, 2007). Dans notre zone d'étude, les zones les plus occupées par les lianes contiennent en moyenne plus d'espèces de lianes consommées par les TLCD ainsi que plus d'individus. Cependant, dans ces zones où le couvert en lianes est très élevé, les arbres sont très peu nombreux, de petit diamètre et la hauteur de canopée est très basse. Les lianes formant un couvert assez impénétrable, les TLCD auraient plus de mal à les traverser et se retrouveraient très exposés aux prédateurs s'ils se déplaçaient au-dessus de ce couvert. De plus, les TLCD émettent plus de LC dans les zones où la couverture forestière arborée est dense. Un couvert restreint en lianes leur permettrait un déplacement plus aisé, étant donné leur mode de déplacement en sautant et s'accrochant (Schwarzkopf & Rylands, 1988), mais un couvert trop dense en lianes nuirait à leur déplacement. Il est donc probable que les TLCD varient les milieux en fonction de leur recherche de nourriture (Albernaz, 1997) et que les zones où le volume moyen en lianes est modéré représentent un compromis entre leurs différents objectifs.

Enfin, les résultats concernant le nombre moyen de connexions de la canopée montrent des résultats qui contrastent avec notre hypothèse de départ. En effet, le nombre moyen de connexions n'augmente pas de manière continue avec le nombre de LC. Cette tendance est discutable, les primates préférant généralement un maximum de connexions entre les houppiers des arbres, afin de se déplacer aisément et de fuir les prédateurs. Il est possible que les « outliers » provoquant la corrélation négative ne soient pas représentatif.

### ***Effets des ressources alimentaires sur l'occurrence des « long calls »***

Les résultats concernant les ressources alimentaires infirment nos hypothèses de départ selon lesquelles les TLCD défendent les zones riches en ressources alimentaires, que ce soit de manière permanente (nombre d'arbres fruitiers) ou immédiate (FAI ou nombre d'arbres en fruit). En effet, le nombre de LC, bien que très significativement lié avec ces paramètres, ne présente pas de corrélation positive avec eux. Contrairement à notre hypothèse, le nombre de LC diminue avec la disponibilité des ressources alimentaires. De plus, la variance est majoritairement expliquée par les ressources permanentes et non immédiates (FAI).

Vraisemblablement, c'est d'abord le nombre d'espèces et ensuite le nombre d'individus d'arbres fruitiers qui conditionnent le plus l'émission de LC. Il semble donc que la diversité soit plus importante que la quantité. Le fait que le nombre de LC ne soit pas corrélé positivement avec le nombre moyen d'arbres fruitiers dont ils consomment les fruits peut être expliqué par plusieurs hypothèses.

D'abord, les relevés phénologiques ont été réalisés entre la fin du mois d'avril et le début du mois de mai, ce qui correspond au début de la saison sèche. Cette période, extrêmement pauvre en fruits, pourrait justifier le fait que les TLCD n'aient pas défendu des zones qui pourtant sont potentiellement riches. Aucun fruit mature n'a d'ailleurs été dénombré. Il est ainsi possible que les TLCD aient compensé ce manque de fruits par une recherche plus active de proies animales et de gomme. D'ailleurs, au sein de la même aire d'étude, les TLCD semblent passer autant de temps à rechercher des proies qu'à rechercher des fruits (Kaisin et al., 2020). De plus, la consommation de gomme se révèle être un substitut important en saison sèche (Passos, 1999).

Quant à la présence de lianes dont les tamarins consomment les fruits, les résultats indiquent que le nombre maximum de LC est émit lorsqu'il y a en moyenne qu'une seule espèce de liane. De plus, elle n'impacte que minoritairement l'émission des LC, par rapport aux arbres fruitiers. Or, les observations relevées à Guarei indiquent que les fruits de lianes constituent 45 % du régime alimentaire des TLCD, pour 35 % de fruits issus d'arbres (LaP, données non publiées). L'impact minoritaire de la présence de lianes en comparaison des arbres fruitiers pourrait s'expliquer également par le fait qu'en période de faible abondance en fruits, les TLCD consomment plus de proies animales et de gomme. Ainsi, 2 observations sur 7 relevées sur la consommation de gomme par les TLCD à Guarei montrent une utilisation de l'espèce d'arbre *Trichillia clausenii* pour extraire la gomme, les autres étant des espèces inconnues (LaP, données non publiées). Or, *Trichillia clausenii* est un arbre dont les TLCD consomment aussi les fruits. Si les TLCD consomment plus de gomme à cause de l'indisponibilité de fruits, et qu'une espèce principale fournissant la gomme est une espèce d'arbre fruitier, il est ainsi possible que la présence d'arbres fruitiers explique davantage le nombre de LC que la présence de lianes. Concernant le fait que le nombre de lianes consommées par les TLCD ne soit pas positivement corrélé avec le nombre de LC, cela pourrait également être expliqué à cause de la période de faible abondance en fruits. Aucun fruit de liane n'a en effet été observé au sein du fragment, même si la phénologie des lianes n'a pas été évaluée.

Le fait que la disponibilité moyenne en fruits immatures n'explique pas la majorité des LC était attendu, étant donné que d'une part, les TLCD préfèrent se nourrir de fruits mûrs et ne se nourrissent de fruits immatures que peu fréquemment (Dietz et al., 1997), et d'autre part qu'il y avait une absence totale de fruits mûrs.

Afin de confirmer quel type de ressource les TLCD défendent le plus quand il s'agit de fruits, il serait nécessaire de reconduire cette étude lors d'une saison plus riche en fruits.

### ***Limites de l'étude***

Nous pouvons identifier quelques limitations associées à cette étude. Tout d'abord, l'étude pilote réalisée à Buri afin de déterminer la distance de portée des LC aurait dû avoir lieu, non pas dans un autre fragment, mais dans la zone d'étude. Les deux fragments différant en termes de valeurs des caractéristiques structurelles, la distance maximale de captation déterminée à Buri pourrait ne pas être exactement la même qu'à Guarei. À Buri, la surface terrière moyenne, la hauteur moyenne ainsi que la densité moyenne des arbres sont inférieurs par rapport à Guarei (LaP, données non publiées). Cependant, il était plus simple d'effectuer le pilote à Buri car les groupes de TLCD y sont plus faciles à trouver et à suivre. En lien avec cette distance de captation, les parcelles créées auraient dû être placées en suivant plus précisément les coordonnées GPS déterminées pour placer le centre de ces parcelles. Le centre ayant été fixé de manière plus approximative en fonction de l'accessibilité du terrain, les distances tampons entre les centres des parcelles et donc les ARUs n'étaient pas toujours respectées comme prévu initialement. Cela aurait pu mener à ce que des signaux soient enregistrés sur plusieurs ARUs, avec le risque de compter deux LC au lieu d'un, bien que cette situation ne se soit présentée que très peu dans cette étude (0.8 %).

Concernant la collecte de données de phénologie, il s'avère nécessaire de prendre en compte différentes saisons afin de pouvoir confirmer les comportements territoriaux des TLCD par rapport aux ressources alimentaires.

De plus, bien qu'ayant choisi de prendre une marge de sécurité, la programmation des ARUs aurait finalement également pu être optimisée en restreignant la durée d'enregistrement de 06:30 à 17:00, afin de coïncider davantage avec l'horaire des tamarins-lions et de ne pas produire de fichiers inutiles. Enfin, une détection automatique des LC à l'aide du « Template Detector » disponible sur le logiciel *Raven Pro 2.0* était initialement prévue, mais a été par la suite abandonnée en raison de dysfonctionnements rencontrés. Les LC ont donc finalement été détectés de façon manuelle. Néanmoins, bien que plus exacte, la détection manuelle est surtout bien plus chronophage qu'une détection automatique. Celle-ci aurait ainsi pu largement optimiser le temps disponible ainsi que permettre l'analyse de tous les enregistrements et non pas d'un quart seulement. Cela aurait également pu apporter des résultats plus complets et donc plus représentatifs. De plus, la perte de données sonores pour 4 parcelles a notamment affaibli le protocole et a produit des zones sans données où aucune conclusion n'a pu être tirée.

Pour terminer, la limite majeure de cette étude consiste en son incapacité à localiser précisément les LC enregistrés, ce qui permettrait d'identifier l'émetteur de chaque LC. À l'heure actuelle, de nombreuses études utilisant des systèmes de localisation acoustique ont vu le jour et s'adressent de plus en plus aux animaux terrestres, tels que les éléphants (Wrege et al., 2017),

les canidés (Papin et al., 2018) ou les primates (*Pongo pygmaeus wurmbii*, Spillman et al., 2015 ; *Hylobates lar*, Keller, 2019). Bien que nécessitant davantage de matériel, un déploiement sur le terrain plus précis et des traitements plus poussés, la localisation acoustique pourrait apporter des compléments d'informations permettant une meilleure compréhension des LC et de leur rôle dans la territorialité des tamarins-lions à croupe dorée.

### ***Contributions de l'étudiant***

Ce travail de fin d'études a été initié suite aux travaux de Zambolli (2016) et de Bury (2020). Le premier a démontré la possibilité de détecter les LC des tamarins-lions à croupe dorée par des ARUs, tandis que la seconde s'est intéressée aux mécanismes influençant la défense territoriale, y compris les LC. Cette étude représente donc une suite logique à ces deux travaux, en approfondissant les objectifs de Bury (2020) tout en utilisant le PAM.

L'apport général de ce travail concerne directement des résultats ainsi que des pistes de réflexion à propos de la compréhension du comportement territorial des tamarins-lions. Plus spécifiquement, ce travail a mené à la création de 24 parcelles dans le fragment de Guarei. Ces nouvelles parcelles complètent les parcelles déjà existantes, afin de représenter uniformément tout le fragment. Les données récoltées pour l'ensemble de ces parcelles pourront permettre de compléter des études en cours, ainsi que d'en initier de futures. De plus, au sein de ce fragment, un inventaire botanique a été conduit pour la première fois pour les lianes, ce qui permettra de considérer davantage cette ressource et d'ouvrir la voie à de futurs projets. Enfin, l'enregistrement par les ARUs a permis d'améliorer considérablement la base de données disponible sur le tamarin-lion à croupe dorée, ce qui laisse également la possibilité de développer de futurs projets.

## CONCLUSION

Les objectifs de ce travail étaient : (1) de caractériser la distribution spatio-temporelle des « long calls », (2) d'identifier les variables structurelles influençant l'émission de « long calls » et (3) de définir si les ressources alimentaires gouvernent l'émission de « long calls ».

L'utilisation de capteurs acoustiques s'est révélée particulièrement appropriée dans cette étude, permettant à la fois une récolte de données non invasive et automatique. Néanmoins, ce gain de temps sur le terrain a été contrebalancé par la durée importante de traitement des données, ainsi que par les quelques problèmes techniques auxquels ce genre de méthode peut faire face. Il est donc important de veiller à utiliser un matériel fonctionnel, à développer une programmation et un traitement des fichiers optimaux, ainsi qu'à disposer d'une méthode automatique pour le traitement des données collectées.

De plus, afin de cibler au mieux les caractéristiques qui influencent l'émission de « long calls » et donc l'apparition d'un comportement territorial, il serait intéressant de prendre en compte davantage de facteurs tels que la présence de sites dorts, d'autres ressources intervenant dans le régime alimentaire, ou même de la composition des groupes de TLCD. Réaliser la même étude au sein d'une forêt continue et non d'un fragment, ainsi qu'au sein de sites écologiquement différents, et durant une plus longue période couvrant différentes saisons, pourrait également permettre de préciser les résultats et de nuancer les conclusions.

Finalement, l'étude approfondie des différents types de « long calls » ainsi que des différentes phrases (Halloy & Kleiman, 1994; McLanahan & Green, 1977), permettrait d'une part de séparer les fonctions territoriales des fonctions intragroupes afin de tirer des conclusions plus précises de l'objectif visé lors de leur émission. D'autre part, les enregistrements récoltés détiennent beaucoup de potentiel dans l'étude comportementale des tamarins-lion à croupe dorée. Couplés au niveau temporel et spatial, ces enregistrements constituent également d'importantes ressources dans l'étude de leurs mouvements.

Pour conclure, les vocalisations, dont les « long calls », étant considérablement diversifiées chez les primates, l'utilisation des ARUs représente un domaine porteur afin d'améliorer notre compréhension de leur comportement (Oliveira & Ades, 2004), et dans le but ultime d'assurer leur conservation. Cette étude apporte des résultats préliminaires, mais invite à poursuivre l'étude du comportement territorial des tamarins-lions, notamment par leur émission de « long calls », auxquelles l'utilisation de méthodes de bioacoustique semble bien se prêter.

## BIBLIOGRAPHIE

- Albernaz A., 1997. Home Range Size and Habitat Use in the Black Lion Tamarin (*Leontopithecus chrysopygus*). *International Journal of Primatology* **18**(6), 877–887.
- Arroyo-Rodríguez V. & Mandujano S., 2009. Conceptualization and Measurement of Habitat Fragmentation from the Primates' Perspective. *Int J Primatol* **30**(3), 497–514, DOI:[10.1007/s10764-009-9355-0](https://doi.org/10.1007/s10764-009-9355-0).
- Bernard E., Melo F.P.L. & Pinto S.R.R., 2011. Challenges and Opportunities for Biodiversity Conservation in the Atlantic Forest in Face of Bioethanol Expansion. *Tropical Conservation Science* **4**(3), 267–275, DOI:[10.1177/194008291100400305](https://doi.org/10.1177/194008291100400305).
- Boinsky S., Moraes E. & Kleiman D.G., 1994. Intra-group vocal behaviour in wild golden lion tamarins, *Leontopithecus rosalia*: Honest communication of individual activity. *Behaviour* **130**, 53–75.
- Browning E., Gibb R., Glover-Kapfer P. & Jones K.E., 2017. Passive acoustic monitoring in ecology and conservation. WWF Conservation Technology Series 1(2)., WWF-UK, Woking, United Kingdom.
- Burt W.H., 1943. Territoriality and Home Range Concepts as Applied to Mammals. *Journal of Mammalogy* **24**(3), 346, DOI:[10.2307/1374834](https://doi.org/10.2307/1374834).
- Bury A., 2020. *Mécanismes des interactions intergroupes d'un primate néotropical, le tamarin lion à croupe dorée (Leontopithecus chrysopygus), dans la forêt atlantique brésilienne* (Unpublished master's thesis). Université de Liège.
- Byrne R.W. & da Cunha R.G.T., 2006. Roars of black howler monkeys (*Alouatta caraya*): evidence for a function in intergroup spacing. *Behav* **143**(10), 1169–1199, DOI:[10.1163/156853906778691568](https://doi.org/10.1163/156853906778691568).
- Carvalho C.T. de & Carvalho C.F. de, 1989. A organização social dos saúis-pretos, (*Leontopithecus chrysopygus* Mikan), na reserva em Teodoro Sampaio, São Paulo (Primates Callithricidae). *Rev. Bras. Zool.* **6**(4), 707–717, DOI:[10.1590/S0101-81751989000400017](https://doi.org/10.1590/S0101-81751989000400017).
- Chapman C.A. & Peres C.A., 2001. Primate conservation in the new millennium: The role of scientists. *Evol. Anthropol.* **10**(1), 16–33, DOI:[10.1002/1520-6505\(2001\)10:1<16::AID-EVAN1010>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/1520-6505(2001)10:1<16::AID-EVAN1010>3.0.CO;2-O).
- Cheyne S.M., Thompson C.J.H. & Chivers D.J., 2013. Travel adaptations of Bornean Agile Gibbons *Hylobates albibarbis* (Primates: Hylobatidae) in a degraded secondary forest, Indonesia. *J. Threat. Taxa* **5**(5), 3963–3968, DOI:[10.11609/JoTT.o3361.3963-8](https://doi.org/10.11609/JoTT.o3361.3963-8).

- Chiarello A.G., 2003. Primates of the Brazilian Atlantic Forest: The Influence of Forest Fragmentation on Survival. *In*: Marsh, L.K. ed. *Primates in Fragments*. Boston, MA: Springer US, 99–121.
- Coimbra-Filho A.F., 1970. Acerca da redescoberta de *Leontideus chrysopygus* (Mikan, 1823) e apontamentos sobre sua ecologia. *Rev. Brasil. Biol.* **30**, 609–615.
- Crunchant A.-S., 2020. *Acoustically assessing apes: chimpanzee conservation with passive acoustic monitoring*. Liverpool John Moores University.
- Culot L., Griese J. & Knogge C., 2015. New records, reconfirmed sites and proposals for the conservation of black lion tamarin (*Leontopithecus chrysopygus*) in the middle and upper Paranapanema. *Neotropical Primates* **22**(1), 32–39.
- Culot L., Pereira L.A. & Agostini I., 2019. ATLANTIC-PRIMATES: a dataset of communities and occurrences of primates in the Atlantic Forests of South America. *Ecology* **100**(1), e02525.
- Day R.T. & Elwood R.W., 1999. Sleeping Site Selection by the Golden-handed Tamarin *Saguinus midas midas*: The Role of Predation Risk, Proximity to Feeding Sites, and Territorial Defence. *Ethology* **105**(12), 1035–1051, DOI:[10.1046/j.1439-0310.1999.10512492.x](https://doi.org/10.1046/j.1439-0310.1999.10512492.x).
- Delgado R.A., 2006. Sexual Selection in the Loud Calls of Male Primates: Signal Content and Function. *Int J Primatol* **27**(1), 5–25, DOI:[10.1007/s10764-005-9001-4](https://doi.org/10.1007/s10764-005-9001-4).
- Develey P.F. & Peres C.A., 2000. Resource seasonality and the structure of mixed species bird flocks in a coastal Atlantic forest of southeastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology* **16**, 33–53.
- Dietz J.M., Peres C.A. & Pinder L., 1997. Foraging ecology and use of space in wild golden lion tamarins (*Leontopithecus rosalia*). *Am. J. Primatol.* **41**(4), 289–305, DOI:[10.1002/\(SICI\)1098-2345\(1997\)41:4<289::AID-AJP2>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2345(1997)41:4<289::AID-AJP2>3.0.CO;2-T).
- Duarte M.H.L., Kaizer M.C., Young R.J., Rodrigues M. & Sousa-Lima R.S., 2018. Mining noise affects loud call structures and emission patterns of wild black-fronted titi monkeys. *Primates* **59**(1), 89–97, DOI:[10.1007/s10329-017-0629-4](https://doi.org/10.1007/s10329-017-0629-4).
- Dufourq E., Durbach I., Hansford J.P., Hoepfner A., Ma H., Bryant J.V., Stender C.S., Li W., Liu Z., Chen Q., Zhou Z. & Turvey S.T., 2021. Automated detection of Hainan gibbon calls for passive acoustic monitoring. *Remote Sens Ecol Conserv* **7**(3), 475–487, DOI:[10.1002/rse2.201](https://doi.org/10.1002/rse2.201).
- Enari H., Enari H.S., Okuda K., Maruyama T. & Okuda K.N., 2019. An evaluation of the efficiency of passive acoustic monitoring in detecting deer and primates in comparison with camera traps. *Ecological Indicators* **98**, 753–762, DOI:[10.1016/j.ecolind.2018.11.062](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.062).
- Estrada A., Garber P.A., Rylands A.B., Roos C., Fernandez-Duque E., Di Fiore A., Nekaris K.A.-I., Nijman V., Heymann E.W., Lambert J.E., Rovero F., Barelli C., Setchell J.M., Gillespie T.R.,

- Mittermeier R.A., Arregoitia L.V., de Guinea M., Gouveia S., Dobrovolski R., Shanee S., Shanee N., Boyle S.A., Fuentes A., MacKinnon K.C., Amato K.R., Meyer A.L.S., Wich S., Sussman R.W., Pan R., Kone I. & Li B., 2017. Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. *Sci. Adv.* **3**(1), e1600946, DOI:[10.1126/sciadv.1600946](https://doi.org/10.1126/sciadv.1600946).
- Garber P.A., Porter L.M., Spross J. & Di Fiore A., 2016. Tamarins: Insights Into Monogamous and Non-Monogamous Single Female Social and Breeding Systems. *American Journal of Primatology* **78**, 298–314.
- Garbino G.S.T., Rezende G.C. & Valladares-Padua C., 2016. Pelage Variation and Distribution of the Black Lion Tamarin, *Leontopithecus chrysopygus*. *IJFP* **87**(4), 244–261, DOI:[10.1159/000450998](https://doi.org/10.1159/000450998).
- Gibb R., Browning E., Glover-Kapfer P. & Jones K.E., 2019. Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods Ecol Evol* **10**(2), 169–185, DOI:[10.1111/2041-210X.13101](https://doi.org/10.1111/2041-210X.13101).
- Goerck J.M., 1997. Patterns of Rarity in the Birds of the Atlantic Forest of Brazil. Patrones de Rareza en las Aves del Bosque Atlantico de Brasil. *Conservation Biology* **11**(1), 112–118, DOI:[10.1046/j.1523-1739.1997.95314.x](https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1997.95314.x).
- Halloy M. & Kleiman D.G., 1994. Acoustic structure of long camms in free-ranging groups of golden tamarins, *Leontopithecus rosalia*. *American Journal of Primatology* **32**, 303–310.
- Hankerson S.J., Franklin S.P. & Dietz J.M., 2007. Tree and forest characteristics influence sleeping site choice by golden lion tamarins. *Am. J. Primatol.* **69**(9), 976–988, DOI:[10.1002/ajp.20400](https://doi.org/10.1002/ajp.20400).
- Hart, 2007. Predation on primates: A biogeographical analysis. In: S. Gursky & K. A. I. Nekaris (Eds.), *Primate Anti-Predator Strategies*. New York, 27–59.
- Hershkovitz P., 1977. *Living New World Monkeys (Platyrrhini) with an Introduction to Primates, Vol. 1.*, Chicago: University of Chicago Press.
- Hill A.P., Prince P., Piña Covarrubias E., Doncaster C.P., Snaddon J.L. & Rogers A., 2018. AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods Ecol Evol* **9**(5), 1199–1211, DOI:[10.1111/2041-210X.12955](https://doi.org/10.1111/2041-210X.12955).
- Johns A.D. & Skorupa J.P., 1987. Responses of rain-forest primates to habitat disturbance: A review. *Int J Primatol* **8**(2), 157–191, DOI:[10.1007/BF02735162](https://doi.org/10.1007/BF02735162).
- Kaisin O., Amaral R.G., Bufalo F.S., Brotcorne F. & Culot L., 2020. Spontaneous Tool Use by a Wild Black Lion Tamarin (*Leontopithecus chrysopygus*). *Int J Primatol* **41**(4), 559–561, DOI:[10.1007/s10764-020-00170-7](https://doi.org/10.1007/s10764-020-00170-7).

- Kalan A.K., Mundry R., Wagner O.J.J., Heinicke S., Boesch C. & Kühl H.S., 2015. Towards the automated detection and occupancy estimation of primates using passive acoustic monitoring. *Ecological Indicators* **54**, 217–226, DOI:[10.1016/j.ecolind.2015.02.023](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.023).
- Keller C., 2019. *Acoustic location systems (ALS) as a tool for group density, territory and behavioural analysis of wild white-handed gibbons (Hylobates lar) in a Sumatran lowland rainforest* (Unpublished master's thesis). University of Zurich.
- Kleiman D.G., 1977. Monogamy in Mammals. *The Quarterly Review of Biology* **52**(1), 39–69, DOI:[10.1086/409721](https://doi.org/10.1086/409721).
- Lahoz-Monfort J.J. & Magrath M.J.L., 2021. A Comprehensive Overview of Technologies for Species and Habitat Monitoring and Conservation. *BioScience* **71**(10), 1038–1062, DOI:[10.1093/biosci/biab073](https://doi.org/10.1093/biosci/biab073).
- Laurance W.F., 2009. Conserving the hottest of the hotspots. *Biological Conservation* **142**(6), 1137, DOI:[10.1016/j.biocon.2008.10.011](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.011).
- Markolf M., Zinowsky M., Keller J.K., Borys J., Cillov A. & Schülke O., 2022. Toward Passive Acoustic Monitoring of Lemurs: Using an Affordable Open-Source System to Monitor Phaner Vocal Activity and Density. *Int J Primatol* **43**(3), 409–433, DOI:[10.1007/s10764-022-00285-z](https://doi.org/10.1007/s10764-022-00285-z).
- Marques T.A., Thomas L., Martin S.W., Mellinger D.K., Ward J.A., Moretti D.J., Harris D. & Tyack P.L., 2013. Estimating animal population density using passive acoustics. *Biol Rev* **88**(2), 287–309, DOI:[10.1111/brv.12001](https://doi.org/10.1111/brv.12001).
- Marsh L.K. (Ed.), 2003. *Primates in Fragments: ecology and conservation*, Boston, MA: Springer US.
- McComb B., Zuckerberg B., Vesely D. & Jordan C., 2010. *Monitoring Animal Populations and Their Habitats: A Practitioner's Guide*, CRC Press.
- McLanahan E.B. & Green K.M., 1977. The vocal repertoire and an analysis of the contexts of vocalizations in *Leontopithecus rosalia*. In: D.G. Kleiman (Ed.), *The Biology and Conservation of Callitrichidae*. Washington D.C.: Smithsonian Institution, 251–269.
- Mitani J.C. & Rodman P.S., 1979. Territoriality: The relation of ranging pattern and home range size to defendability, with an analysis of territoriality among primate species. *Behav Ecol Sociobiol* **5**(3), 241–251, DOI:[10.1007/BF00293673](https://doi.org/10.1007/BF00293673).
- Mitani J.C. & Stuht J., 1998. The evolution of nonhuman primate loud calls: Acoustic adaptation for long-distance transmission. *Primates* **39**(2), 171–182, DOI:[10.1007/BF02557729](https://doi.org/10.1007/BF02557729).

- Mittermeier R.A., 2013. *Introduction*. In: *Handbook of the Mammals of the World. Volume 3. Primates*, R. A. Mittermeier, A. B. Rylands and D. E. Wilson (eds.), Barcelona: Lynx Edicions, 13–26.
- Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A.B. & Kent J., 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* **403**, 853–858, DOI:[10.1038/35002501](https://doi.org/10.1038/35002501).
- Nassar A.M., Rudor B.F.T., Antoniazzi L.B., de D.A., Bacchi M.R.P. & Adami M., 2008. Prospects of the sugarcane expansion in Brazil: impacts on direct and indirect land use changes. In: *Zuurbier, P., Van de Vooren, J. (Eds.), Sugarcane Ethanol: Contribution to Climate Change Mitigation and the Environment*. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, 63–93.
- Oliveira D.A.G. & Ades C., 2004. Long-distance calls in Neotropical primates. *An. Acad. Bras. Ciênc.* **76**(2), 393–398, DOI:[10.1590/S0001-37652004000200031](https://doi.org/10.1590/S0001-37652004000200031).
- Papin M., Pichenot J., Guérolde F. & Germain E., 2018. Acoustic localization at large scales: a promising method for grey wolf monitoring. *Front Zool* **15**(1), 11, DOI:[10.1186/s12983-018-0260-2](https://doi.org/10.1186/s12983-018-0260-2).
- Passos F. de C., 1999. Dieta de um grupo de mico-leão-preto, *Leontopithecus chrysopygus* (Mikan) (Mammalia, Callitrichidae), na Estação Ecológica dos Caetetus, São Paulo. *Rev. Bras. Zool.* **16**(suppl 1), 269–278, DOI:[10.1590/S0101-81751999000500019](https://doi.org/10.1590/S0101-81751999000500019).
- Peres C.A., 1989. Costs and benefits of territorial defence in wild golden lion tamarins, *Leontopithecus rosalia*. *Behav Ecol Sociobio* **25**, 227–233.
- Perez-Granados C. & Schuchmann K.-L., 2021. Passive acoustic monitoring of the diel and annual vocal behavior of the Black and Gold Howler Monkey. *American Journal of Primatology* **83**(3), 1–10.
- Piel A.K., Cruncheon A., Knot I.E., Chalmers C., Fergus P., Mulero-Pázmány M. & Wich S.A., 2022. Noninvasive Technologies for Primate Conservation in the 21st Century. *Int J Primatol* **43**(1), 133–167, DOI:[10.1007/s10764-021-00245-z](https://doi.org/10.1007/s10764-021-00245-z).
- Ranta P., Blom T., Niemelä J., Joensuu E. & Siitonen M., 1998. The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. *Biodiversity and Conservation* **7**, 385–403.
- Rezende C.L., Scarano F.R., Assad E.D., Joly C.A., Metzger J.P., Strassburg B.B.N., Tabarelli M., Fonseca G.A. & Mittermeier R.A., 2018. From hotspot to hopespot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. *Perspectives in Ecology and Conservation* **16**(4), 208–214, DOI:[10.1016/j.pecon.2018.10.002](https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002).

- Rezende G., Knogge C. & Passos F., 2020. *Leontopithecus chrysopygus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020.
- Rhinehart T.A., Chronister L.M., Devlin T. & Kitzes J., 2020. Acoustic localization of terrestrial wildlife: Current practices and future opportunities. *Ecol Evol* **10**(13), 6794–6818, DOI:[10.1002/ece3.6216](https://doi.org/10.1002/ece3.6216).
- Ribeiro M.C., Metzger J.P., Martensen A.C., Ponzoni F.J. & Hirota M.M., 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation* **142**(6), 1141–1153, DOI:[10.1016/j.biocon.2009.02.021](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021).
- Robinson J.G., 1979. Vocal regulation of use of space by groups of titi monkeys *Callicebus moloch*. *Behav Ecol Sociobiol* **5**(1), 1–15, DOI:[10.1007/BF00302691](https://doi.org/10.1007/BF00302691).
- Rovero F. & Struhsaker T.T., 2007. Vegetative predictors of primate abundance utility and limitations of a fine-scale. *American Journal of Primatology* **69**, 1242–1256.
- Ruiz-Miranda C.R. & Kleiman D.G., 2002. Conspicuousness and complexity: Themes in lion tamarin communication. In: D.G. Kleiman & A.B. Rylands (Eds.), *Lion Tamarins: Biology and Conservation*, Smithsonian Institution Press. Washington D.C., 233–254.
- Rylands A.B., 1986. Ranging behaviour and habitat preference of a wild marmoset group, *Callithrix humeralifer* (Callitrichidae, Primates). *Journal of Zoology* **210**(4), 489–514, DOI:[10.1111/j.1469-7998.1986.tb03652.x](https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1986.tb03652.x).
- Rylands A.B., Coimbra-Filho A.F. & Mittermeier R.A., 2009. The Systematics and Distributions of the Marmosets (*Callithrix*, *Callibella*, *Cebuella*, and *Mico*) and *Callimico* (*Callimico*) (Callitrichidae, Primates). In: Ford, S.M., Porter, L.M., Davis, L.C. eds. *The Smallest Anthropoids*. Boston, MA: Springer US, 25–61.
- Rylands A.B., Heymann E.W., Lynch Alfaro J., Buckner J.C., Roos C., Matauschek C., Boubli J.P., Sampaio R. & Mittermeier R.A., 2016. Taxonomic review of the New World tamarins (Primates: Callitrichidae). *Zool J Linn Soc* **177**(4), 1003–1028, DOI:[10.1111/zoj.12386](https://doi.org/10.1111/zoj.12386).
- Rylands A.B., Mittermeier R.A. & Silva J.S., 2012. Neotropical primates: taxonomy and recently described species and subspecies: Neotropical Primate Taxonomy. *Int. Zoo Yb.* **46**(1), 11–24, DOI:[10.1111/j.1748-1090.2011.00152.x](https://doi.org/10.1111/j.1748-1090.2011.00152.x).
- Sabatini V. & Ruiz-Miranda C.R., 2008. Acoustical Aspects of the Propagation of Long Calls of Wild *Leontopithecus rosalia*. *Int J Primatol* **29**(1), 207–223, DOI:[10.1007/s10764-008-9240-2](https://doi.org/10.1007/s10764-008-9240-2).
- Sabatini V. & Ruiz-Miranda C.R., 2010. Does the golden lion tamarin, *Leontopithecus rosalia* (Primates: Callitrichidae), select a location within the forest strata for long distance

- communication? *Zoologia (Curitiba, Impr.)* **27**(2), 179–183, DOI:[10.1590/S1984-46702010000200004](https://doi.org/10.1590/S1984-46702010000200004).
- Salem S.I., Fujisao K., Maki M., Okumura T. & Oki K., 2021. Detecting and Tracking the Positions of Wild Ungulates Using Sound Recordings. *Sensors* **21**(3), 866, DOI:[10.3390/s21030866](https://doi.org/10.3390/s21030866).
- Schwarzkopf L. & Rylands A.B., 1989. Primate species richness in relation to habitat structure in Amazonian rainforest fragments. *Biological Conservation* **48**, 1–12.
- Snowdon C.T., 1989. Vocal communication in New World monkeys. *Journal of Human Evolution* **18**, 611–633.
- Snowdon C.T. & Hodun A., 1981. Acoustic Adaptations in Pygmy Marmoset Contact Calls: Locational Cues Vary with Distances between Conspecifics. *Behav Ecol Sociobio* **9**, 295–300.
- Snowdon C.T., Hodun A., Rosenberg A.L. & Coimbra-Filho A.F., 1986. Long call structure and its relation to taxonomy in lion tamarins. *American Journal of Primatology* **11**, 254–261.
- Spillmann B., van Noordwijk M.A., Willems E.P., Mitra Setia T., Wipfli U. & van Schaik C.P., 2015. Validation of an acoustic location system to monitor Bornean orangutan (*Pongo pygmaeus wurmbii*) long calls. *Am. J. Primatol.* **77**(7), 767–776, DOI:[10.1002/ajp.22398](https://doi.org/10.1002/ajp.22398).
- Sueur J., Pavoine S., Hamerlynck O. & Duvail S., 2008. Rapid Acoustic Survey for Biodiversity Appraisal. *PLoS ONE* **3**(12), e4065, DOI:[10.1371/journal.pone.0004065](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004065).
- Sugai L.S.M., Silva T.S.F., Ribeiro J.W. & Llusia D., 2019. Terrestrial Passive Acoustic Monitoring: Review and Perspectives. *BioScience* **69**(1), 15–25, DOI:[10.1093/biosci/biy147](https://doi.org/10.1093/biosci/biy147).
- Uezu A. & Metzger J.P., 2011. Vanishing bird species in the Atlantic Forest: relative importance of landscape configuration, forest structure and species characteristics. *Biodivers Conserv* **20**(14), 3627–3643, DOI:[10.1007/s10531-011-0154-5](https://doi.org/10.1007/s10531-011-0154-5).
- Valladares-Padua C.B., 1993. *The ecology, behavior and conservation of the black lion tamarin (Leontopithecus chrysopygus Mikan, 1823)*. University of Florida.
- Van Belle S., Estrada A. & Garber P.A., 2013. Spatial and Diurnal Distribution of Loud Calling in Black Howlers (*Alouatta pigra*). *Int J Primatol* **34**(6), 1209–1224, DOI:[10.1007/s10764-013-9734-4](https://doi.org/10.1007/s10764-013-9734-4).
- Waser P.M. & Waser M.S., 1977. Experimental studies of primate vocalization: specializations for longdistance propagation. *Zeitschrift für Tierpsychologie* **43**, 239–263.

- Wich S. & Nunn C., 2002. Do male “long-distance calls” function in mate defence? A comparative study of long-distance calls in primates. *Behavioral Ecology and Sociobiology* **52**(6), 474–484, DOI:[10.1007/s00265-002-0541-8](https://doi.org/10.1007/s00265-002-0541-8).
- Wilson D.E. & Reeder D.M., 2005. *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference (3rd ed)*, Johns Hopkins University Press, 2142.
- Wood S.N., 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models: Estimation of Semiparametric Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* **73**(1), 3–36, DOI:[10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2010.00749.x).
- Wrangham R., Lundy R., Crofoot M. & Gilby I., 2007. Use of overlap zones among group-living primates: a test of the risk hypothesis. *Behav* **144**(12), 1599–1619, DOI:[10.1163/156853907782512092](https://doi.org/10.1163/156853907782512092).
- Wrege P.H., Rowland E.D., Keen S. & Shiu Y., 2017. Acoustic monitoring for conservation in tropical forests: examples from forest elephants. *Methods Ecol Evol* **8**(10), 1292–1301, DOI:[10.1111/2041-210X.12730](https://doi.org/10.1111/2041-210X.12730).
- Wright P.C., 1978. Home range, activity patterns, and agonistic encounters of a group of night monkeys (*Aotus trivirgatus*) in Peru. *Folia Primatologica* **29**, 43–50.
- Zaluar M.T., Tardin R., Llusia D., Niemeyer J., Ribeiro M.C. & Vale M.M., 2022. Impact of invasive marmosets (Primates, Callitrichidae) on bird acoustic diversity in a large neotropical urban forest. *Biol Invasions* **24**(6), 1725–1737, DOI:[10.1007/s10530-022-02748-z](https://doi.org/10.1007/s10530-022-02748-z).
- Zambolli A.H., 2020. *O uso de gravadores automáticos para a detecção do mico-leão-preto (Leontopithecus chrysopygus)* (Unpublished master’s thesis). Universidade Estadual Paulista.
- Zanette L., Doyle P. & Trémont S.M., 2000. Food shortage in small fragments evidence from an area-sensitive passerine. *Ecology* **81**(6), 1654–1666.
- Zwerts J.A., Stephenson P.J., Maisels F., Rowcliffe M., Astaras C., Jansen P.A., Waarde J., Sterck L.E.H.M., Verweij P.A., Bruce T., Brittain S. & Kuijk M., 2021. Methods for wildlife monitoring in tropical forests: Comparing human observations, camera traps, and passive acoustic sensors. *Conservat Sci and Prac* **3**(12), DOI:[10.1111/csp2.568](https://doi.org/10.1111/csp2.568).