

ETUDE DE L'ÉCHOLOCATION ET DES CRIS SOCIAUX

I. INTRODUCTION

Les chauves-souris insectivores utilisent deux types de signaux acoustiques : l'écholocation et les cris sociaux. L'utilisation de l'écholocation consiste à émettre des impulsions sonores appelées ultrasons qui se réfléchissent sur toute surface et les échos sont ensuite captés par l'animal et les informent sur l'attitude à prendre. Ces ultrasons sont des sons de haute fréquence allant de 20 à 210 kHz, ils sont inaudibles à l'oreille humaine (Schober et Grimmberger, 1991 ; Taylor, 2000). Les ultrasons sont des signaux à intervalle plus ou moins régulier qui permettent aux chauves-souris de se repérer, de s'orienter, de se déplacer dans leur environnement, de détecter et de capturer aussi des proies (Altringham et Fenton, 2003 ; Jones et Teeling, 2006 ; Russo *et al.*, 2007 ; Ramasindrazana, 2012). L'écholocation est aussi utilisée pour l'identification entre les individus d'un même groupe et pour la reconnaissance des échos d'un individu pour éviter la confusion avec ceux des autres (Siemers et Kerth, 2006). Les cris sociaux sont par contre les plus utilisés pour la communication entre les individus. Il s'agit des sons à basse fréquence, donc généralement audibles pour l'homme (Schober et Grimmberger, 1991 ; Taylor, 2000 ; Siemers et Kerth, 2006).

En effet, les cris sociaux présentent une plus grande variabilité structurelle qui permet une détection plus large d'information (Pfalzer et Kusch, 2003). Ces cris peuvent traduire des signaux de détresse, d'accouplement, de défense de territoire ou encore de communication entre mère et ses petits (Barlow et Jones, 1997 ; Taylor, 2000 ; Pfalzer et Kusch, 2003). Plusieurs recherches ont été faites sur l'écholocation des chauves-souris malgaches. Des publications scientifiques sont disponibles telles que les travaux de Russ *et al.* (2003), concernant l'écholocation de 15 espèces de chauves-souris insectivores appartenant à la famille des Molossidae. Il en est de même pour l'étude de l'écholocation de la famille des Emballonuridae, Hipposideridae, Rhinonycteridae et Vespertilionidae (Kofoky *et al.*, 2009). Des mémoires focalisés sur différents aspects de l'écholocation sont aussi disponibles. Il y a entre autres, le mémoire de Raharinantenaina (2008) sur écholocation des chauves-souris insectivores dans les forêts littorales de Sainte-Luce et Mandena (Région Anosy) et celui de Ramasindrazana (2012) sur l'étude bioacoustique des chauves-souris insectivores de Madagascar. Le seul article sur l'écholocation de *Myzopoda aurita* est celui écrit par

Göpfert et Wasserthal (1995). Cette étude n'a concerné qu'un seul individu et aucune information n'est disponible sur les cris sociaux de l'espèce.

L'objectif de cette étude est d'approfondir la connaissance sur l'écholocation et les cris sociaux de *Myzopoda aurita* pour servir de modèle de surveillance acoustique de cette espèce. Les objectifs spécifiques sont :

- Décrire l'écholocation de *Myzopoda aurita* ;
- Décrire les cris sociaux de cette espèce de chauve-souris.

Deux hypothèses sont mises en exergue :

- L'écholocation de *Myzopoda aurita* a une forme ;
- Les cris sociaux de cette espèce de chauve-souris ont plusieurs formes.

II. METHODOLOGIE

Enregistrement de l'écholocation

L'écholocation de *Myzopoda aurita* est enregistrée à l'aide d'un détecteur ultrasonique. Cet appareil permet de détecter et d'enregistrer les ultrasons émis par les chauves-souris et donne des informations sur la localisation de l'espèce et sur leurs comportements. Le détecteur ultrasonique à méthode d'expansion de temps ("time expansion") Pettersson D240X (Pettersson Elektronik, AB, Uppsala, Suède) a été utilisé (Annexe 10). Cet appareil est réglé à 42 kHz, qui correspond à la fréquence de *Myzopoda aurita*, et permet de capter les ultrasons à temps réel et de les reconvertir en sons audibles pour l'homme (Pettersson 2001). Cet appareil stocke les ultrasons et les reproduit à une vitesse dix fois plus lente. Les ultrasons au ralenti conservent l'intégrité du signal (Rydell *et al.*, 2002). Les sons sont ensuite stockés sur des mini-disques (Sony MZ-N505 Net MD Recorder/Player sans compression) pour une analyse ultérieure (Russ, 1999) (Annexe 10). Les enregistrements ont été réalisés à trois différents niveaux. Le premier s'effectue sur les pistes pendant le vol de l'animal. Le second est réalisé à l'intérieur du gîte ou dortoir de l'animal. Enfin, le dernier se fait lors du relâchement de l'animal.

Enregistrement des cris sociaux

Les cris sociaux sont caractéristiques et uniques pour chaque espèce. Cependant, chez les chauves-souris, la variation temporelle de la structure de fréquence des cris sociaux est beaucoup plus complexe que celle de l'écholocation, ce qui la rend difficile à interpréter. D'une manière générale, les signaux de cris sociaux, se situent sur des basses fréquences (14 à 25 kHz) et présentent une structure FM différente des signaux d'écholocation. Ils sont alors devenus audibles à l'oreille humaine et analysables à l'expansion de temps.

Au niveau du gîte, les comportements social et acoustique sont suivis avec une caméra vidéo (Sony HDR-CX550V), cachée à l'intérieur d'un boîtier étanche. Des sources des lumières infrarouges (Wildlife Engineering) alimentées par deux batteries et un microphone ultrasonique CM16/CMPA (Avisoft Bioacoustics, Berlin, Allemagne) sont placées sur une plateforme (Figure 27A). Cette plateforme est ensuite fixée à proximité du gîte (Figure 27A). Le microphone est relié à un ordinateur portable Toughbook 19 (Panasonic) (Annexe 9) qui enregistre les cris sociaux de *Myzopoda aurita* qui sortent et entrent dans le gîte (feuille de *Ravenala madagascariensis*). L'enregistrement des données est fait avec le logiciel Avisoft Recorder (Avisoft Bioacoustics, Berlin, Allemagne).

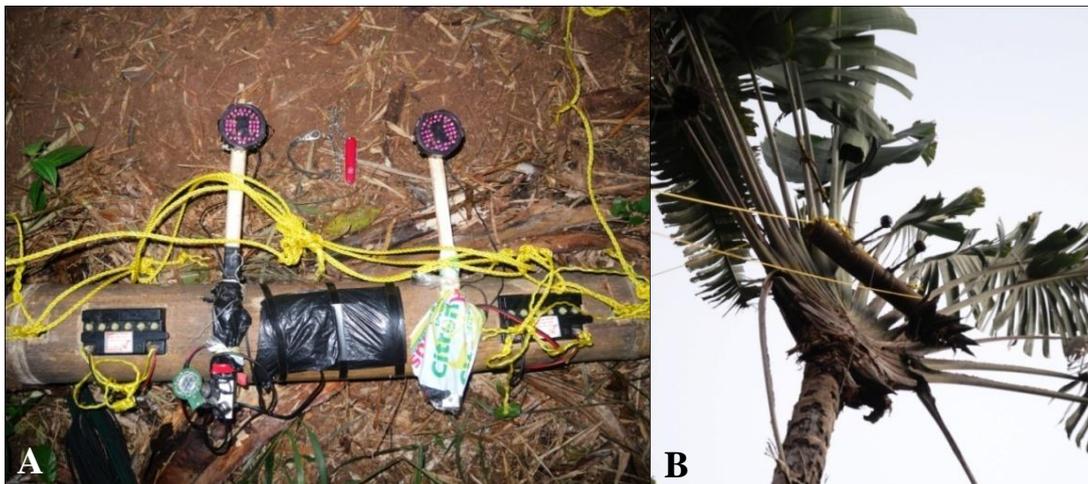


Figure 27 : **A:** Plateforme d'enregistrement, **B :** Emplacement de la plateforme (Cliché par Karina B. Montero)

II.3. Analyse des sons enregistrés

II.3.1. Echolocation

L'analyse des écholocations s'effectue à l'aide du logiciel Batsound 3.31 software (Pettersson Electronics, Uppsala, Suède) à une fréquence de 42 kHz avec 16 bits de résolution. Ce logiciel est capable de produire des spectrogrammes en couleurs codées en temps réel. D'autres types d'analyses sont aussi inclus dans ce logiciel : densité spectrale, oscillogramme, mesure de la durée et des intervalles entre les cris. Plusieurs caractéristiques de ce logiciel telles que le choix de couleurs codées, de quadrillages et divers pointeurs facilitent la lecture et l'usage des représentations graphiques. Les fenêtres multiples de ce logiciel permettent d'examiner un même signal, sous divers aspects, ou de comparer plusieurs signaux dans la même méthode d'analyse. Le filtrage des signaux permet d'éliminer les sons non souhaités. En effet, pour des signaux faibles, il convient de sélectionner un seuil ("threshold") bas et pour ceux qui sont forts avec des bruits parasites, le seuil doit être plus élevé. La densité spectrale est variable, ainsi, il est possible de suivre ses modifications en fonction du temps. Pour éviter une pseudo-réplication (Hurlbert, 1984) et pour obtenir une description précise, une séquence d'appel unique de chaque individu de chauve-souris a été sélectionnée pour analyse. Le choix est basé sur une évaluation subjective de la qualité de l'appel, c'est-à-dire à sélectionner l'une des dernières écholocations dans chaque séquence, qui avait un rapport signal-bruit élevé (Jennings *et al.*, 2004).

II.3.1.1. Types d'ultrason

Les ultrasons jouent un rôle important dans la vie des chauves-souris. La plupart sinon la totalité de leur activité ont besoin de l'utilisation de ces ultrasons, entre autres l'orientation, la chasse et le déplacement. Ils constitueraient alors un aspect clé de l'organisation sociale des chauves-souris et dans la gestion des interactions interspécifiques. Si toutes les chauves-souris chassaient de la même manière, il y aurait une forte concurrence pour la nourriture. Au cours de l'évolution, chaque espèce a donc développé sa propre technique de chasse et de ce fait son propre type d'ultrason. Il y a quatre types d'ultrasons identifiés pour toutes les chauves-souris (Ahlén, 2002; Pettersson, 2001 et 2002).

Premièrement, il y a la Fréquence Modulée abrupte (FM abrupte). Ce sont des signaux courts avec une forte variation de fréquence. Ce type de signal donne une information plus détaillée sur l'environnement de l'animal, cependant, il est sensible à l'atténuation atmosphérique. Deuxièmement, la Fréquence Modulée aplanie (FM aplanie), les signaux débutent par une séquence de FM à laquelle succède une séquence de Fréquence Quasi Constante (partie QFC). La partie à QFC donne à la chauve-souris une information moins détaillée sur son environnement, néanmoins, elle est peu sensible à l'atténuation atmosphérique, donc sa portée est plus longue. C'est le type d'ultrason utilisé par les chauves-souris qui chassent dans des habitats semi-ouverts. Troisièmement, la Fréquence Quasi Constante (QFC), c'est un signal à partie FM est moins grande et est dominé par celle à QFC. Ce type de signal donne surtout des informations sur les objets situés à grande distance et est principalement utilisé lors de la chasse en milieu ouvert. Enfin, la Fréquence Constante (FC) qui est également appelé FM-FC-FM, car du début jusqu'à la fin du signal, se trouve une petite queue en FM. Ce type d'ultrason est déployé par les chauves-souris qui utilisent des effets sonores particuliers, comme l'effet Doppler, pour interpréter les signaux. L'effet Doppler est le décalage entre la fréquence de signaux émis et de signaux reçus lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre y apparaît aussi lorsque le signal se réfléchit sur un objet en mouvement.

L'écholocation de *Myzopoda aurita* est très distincte des autres espèces de chauves-souris et se compose d'un balayage très peu profond, qui ressemble à un CF. Elle est souvent divisée en une série de trois éléments, suivi d'un balayage FM (Russ *et al.*, 2001).

II.3.1.2. Harmonique

Les harmoniques sont des sons de fréquences égales à des multiples entiers de la fréquence fondamentale, qui est en général la plus intense. Ils permettent aux chauves-souris d'élargir leur spectre d'émission et de déterminer la vitesse et la distance des proies en détectant les oscillations dues aux battements d'ailes des insectes. De nombreuses espèces de chiroptères émettent des harmoniques. Elles augmentent ainsi la bande de fréquence, ce qui améliore la perception des détails de leur environnement. Le nombre des harmoniques présents au niveau de chaque signal est noté.

La capacité d'identifier les harmoniques sur le terrain augmente la probabilité du détecteur hétérodyne de pouvoir isoler les différentes espèces. En raison du traitement du signal, les harmoniques ne sont plus présentes dans la fréquence de division. Cependant, sur l'expansion de temps, les harmoniques ne sont pas audibles néanmoins sont disponibles pour l'analyse ultérieure.

II.3.1.3. Intervalle entre les signaux (IPI)(ms)

L'intervalle entre les signaux est le laps de temps qui sépare deux signaux ultrasoniques consécutifs, exprimé également en milliseconde (ms). Cet intervalle est mesuré avec l'oscillogramme de l'expansion de temps. Pour définir le début et la fin d'un signal, un bon rapport entre signal et bruit et l'absence de chevauchement entre le signal et l'écho sont requis (Kalko et Schnitzler, 1989).

II.3.1.4. Paramètres du signal

Pour analyser l'écholocation de *Myzopoda aurita*, trois écholocations par enregistrement ont été analysées. Les paramètres sont mesurés en utilisant le logiciel BatSound v 3.31 (Pettersson Elektronik, Uppsala, Suède), à la fréquence de 42 kHz et une résolution de 16 bits, un Fast Fourier Transform 512 (Obrist 1995), et au mode « Hanning window » qui permet d'éliminer les bruits indésirables (Schoeman et Jacobs, 2003). Cinq paramètres standards ont été mesurés dans le spectrogramme incluant la fréquence maximale (F_{\max}), la fréquence minimale (F_{\min}), la fréquence du maximum d'énergie $F_{E_{\max}}$ (kHz), la durée (Dur), et l'intervalle entre les signaux (IPI) (ms) (Figure 28).

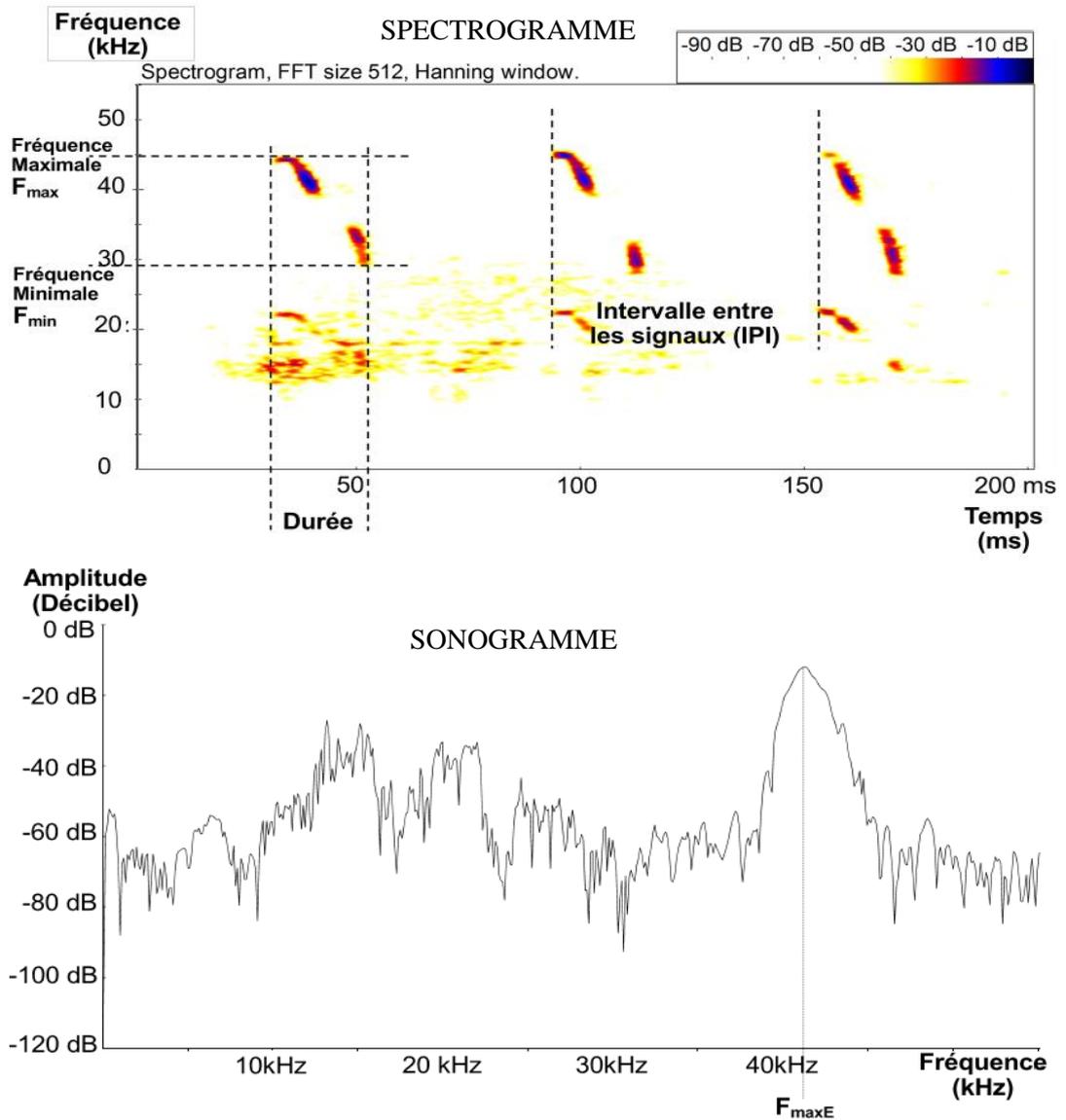


Figure 28 : Différents paramètres caractéristiques d'un ultrason de *Myzopoda aurita*.

II.3.2. Cris sociaux

Les images vidéo et l'enregistrement acoustique sont synchronisés afin d'observer simultanément le comportement et les signaux acoustiques pour un individu. Les images enregistrées au niveau des gîtes sont analysées avec le logiciel Final Cut Pro 7 (Apple, Inc., Californie, USA). Le comportement observé sur vidéo placé sur le gîte (intérieur de la jeune feuille centrale partiellement enroulée de *Ravenala madagascariensis*) est classifié à l'aide d'un éthogramme. Ce dispositif stocke des informations concernant entre autres le nombre de chauves-souris, le comportement, le temps dépensé à l'intérieur des gîtes et la présence de cris sociaux. Les cris sociaux sont analysés avec le logiciel Avisoft SasLab Pro (Avisoft Bioacoustics, Berlin, Allemagne). L'analyse consiste à détecter le comportement entre les individus d'un

même gîte comme la territorialité, l'agressivité, le parade nuptiale, cri d'appel d'un jeune à sa mère, etc. (Pfalzer et Kusch, 2003 ; Kerth, 2008). L'analyse de cris sociaux de *Myzopoda aurita* permet de savoir s'ils sont utilisés pour la recherche de nouveaux gîtes et la communication entre les individus de leurs emplacements.

III. RESULTAS ET INTERPRETATIONS

III.1. Echolocation

III.1.1. Type d'écholocation

La structure de l'écholocation émise par *Myzopoda aurita* mâles est différente des autres espèces de chauves-souris. Cette espèce émet des appels complexes d'écholocation composé d'un balayage CF suivi d'un balayage FM. Elle est composée d'un à quatre éléments distincts d'amplitude accrue et de longue durée d'appel. L'écholocation est formée par un long et faible balayage terminé par un autre court et abrupt. En raison de différents nombres d'éléments et de la présence de deux harmoniques, la structure d'appel est très variable. La deuxième harmonique est la composante la plus forte (Figure 29).

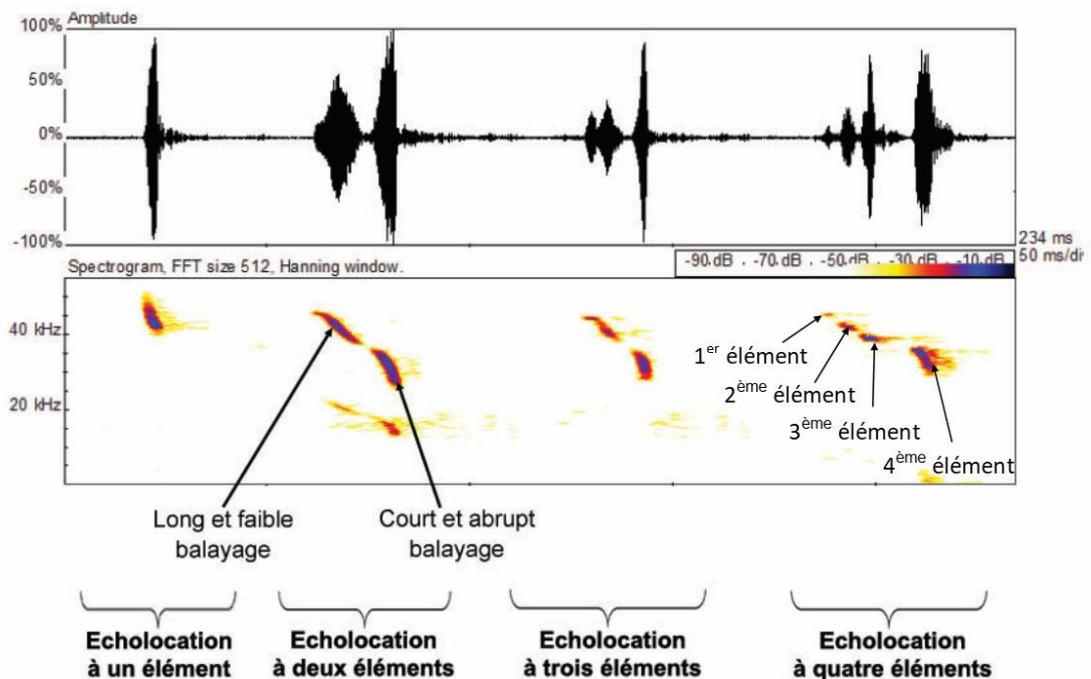


Figure 29 : Les différentes compositions de l'écholocation émise par *Myzopoda aurita* mâles avec le spectrogramme en haut et le sonagramme en bas.

Sur les enregistrements d'écholocation de cette espèce (n = 71), la majorité des enregistrements, c'est-à-dire 41 % sont composés de deux éléments (n = 29). Les

écholocations composées d'un seul élément sont aussi nombreuses avec 31 % des enregistrements analysés ($n = 22$) (Figure 30). Les écholocations composées d'un et de deux éléments sont les plus utilisées par *Myzopoda aurita*. Ces types d'écholocations sont surtout utilisés pour le déplacement et la chasse.

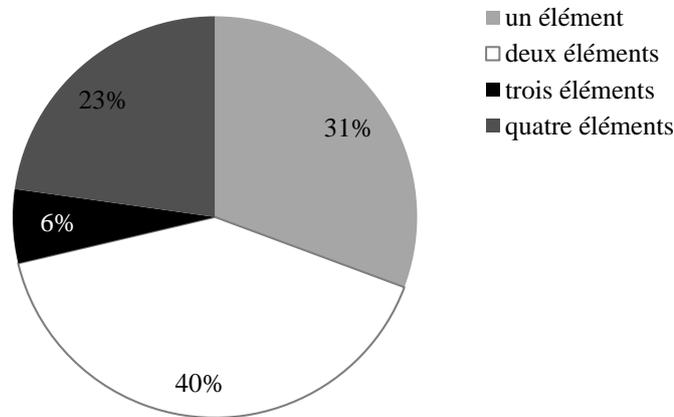


Figure 30 : Composition des écholocations analysées.

III.1.2. Fréquence

Pour les 71 enregistrements effectués ($n = 71$), la fréquence varie entre 41 à 53 kHz avec une moyenne de 46 kHz pour la fréquence maximale (F_{\max}), de 22 à 39 kHz, 28 kHz pour la fréquence minimale (F_{\min}) et de 33 à 51 kHz, et 41 kHz pour la fréquence moyenne qui présente le maximum d'énergie ($F_{\max E}$). La fréquence diminue de 53 à 22 kHz avec un balayage FM peu profond pendant les trois premiers éléments et un balayage FM abrupte pendant le quatrième élément. Ce qui veut dire que l'écholocation émise par *Myzopoda aurita* est à haute fréquence (Figure 31).

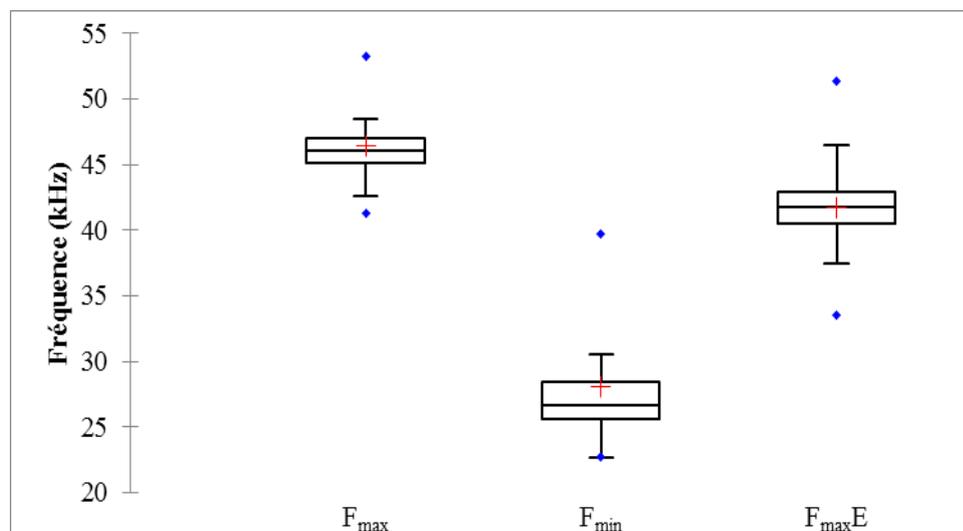


Figure 31 : Distribution des fréquences maximales, minimales et à plus forte énergie.

III.1.3. Durée du signal

La durée du signal varie entre 5 et 30 ms. La durée moyenne des signaux est de 12 ± 5 ms ($n = 22$) pour les signaux à un élément, 18 ± 3 ms ($n = 29$) pour ceux à deux éléments, 19 ± 4 ms ($n = 4$) pour ceux qui sont à trois éléments et 23 ± 5 ms ($n = 16$) pour les quatre éléments (Figure 32). La durée augmente ainsi au fur et à mesure que le nombre d'éléments s'accroît. Le résultat du test de corrélation de Spearman (Corrélation de Spearman $\rho = 0,68$, $p < 0,0001$) l'atteste. Ceci signifie que plus le nombre d'éléments augmente plus la durée du signal est longue (Figure 32).

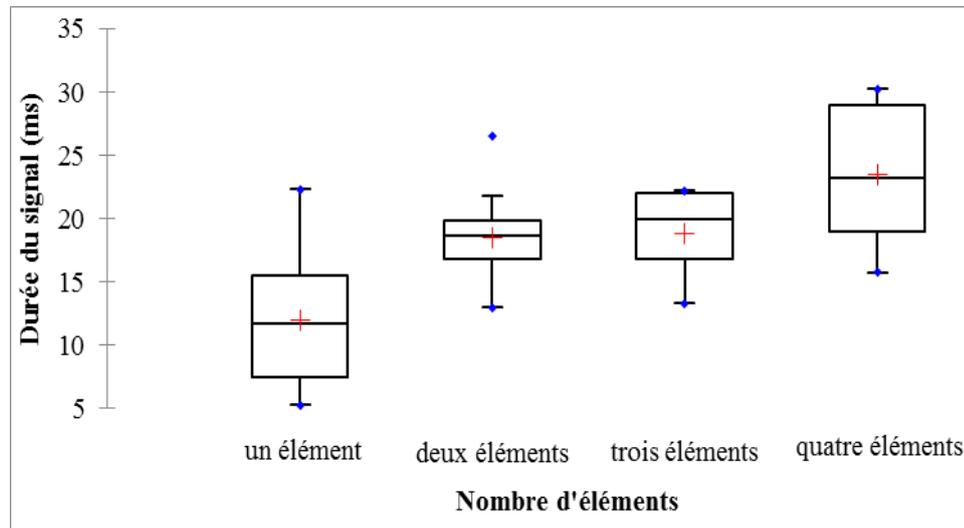


Figure 32 : Corrélation entre le nombre d'éléments et la durée du signal.

La différence entre la durée de la première et la deuxième partie du signal est significative (t-test apparié $t = 9,16$; $p < 0,0001$), avec une moyenne de 11 ± 3 ms ($n = 49$) pour la première partie et de 7 ± 1 ms ($n = 49$) pour la deuxième. En effet, la durée varie d'un élément en autre pour une écholocation donnée (Figure 33).

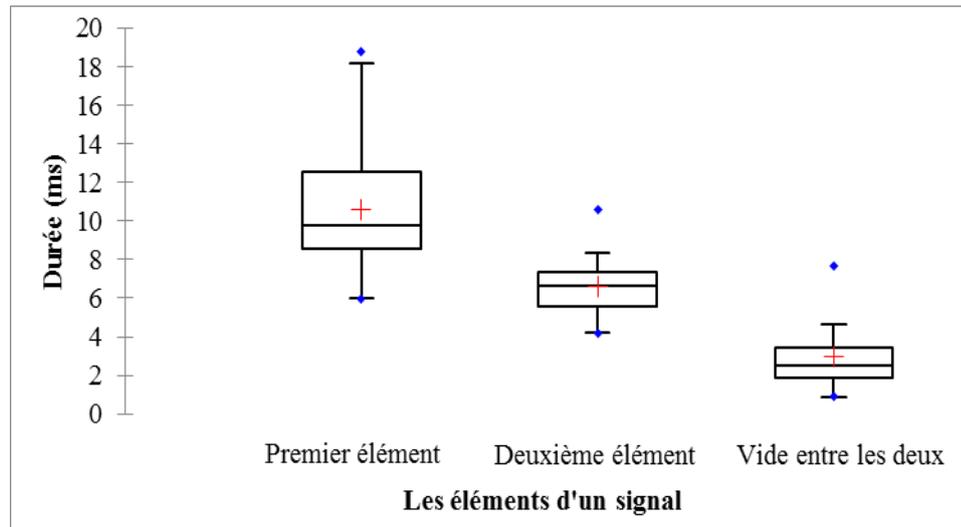


Figure 33 : Durée de chaque élément du signal.

Le signal est plus long lors du relâchement avec une moyenne de 19 ± 5 ms ($n = 38$), par rapport à ceux enregistrés au niveau des pistes 13 ± 9 ms ($n = 14$) (Figure 33). Cette différence du signal selon les lieux d'enregistrement est significative (Kruskal-Wallis $p = 0,003$). Les individus réagissent donc à la manipulation dont ils ont subi. L'émission des signaux plus longs lors du relâchement en témoigne. Il n'y a pas de différence significative pour la première partie (Kruskal-Wallis $p = 0,11$) et la deuxième (Kruskal-Wallis $p = 0,4$) entre les différents lieux d'enregistrement. Par contre le vide entre les deux parties du signal diffère selon les lieux d'enregistrement (Kruskal-Wallis $p = 0,006$) avec une moyenne de 3 ± 1 ms pendant le relâchement, 5 ± 2 ms au niveau des pistes et 2 ± 1 ms dans les gîtes (Figure 34). Ce qui signifie que l'écholocation est constituée de deux parties dont la première est plus long par rapport au deuxième quel que soit le lieu d'enregistrement.