FONDATION biotope

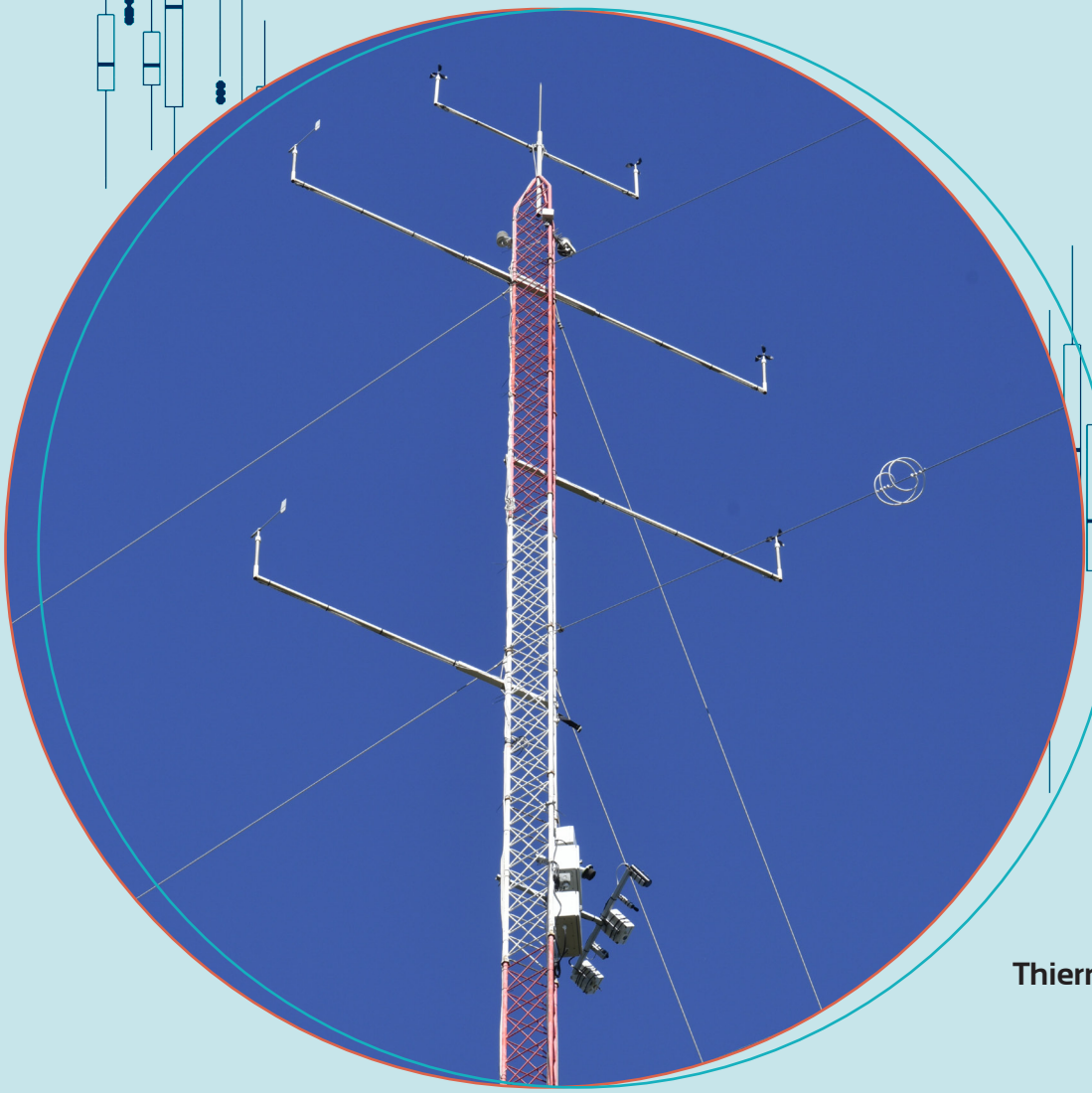
DOCUMENTS TECHNIQUES

de la Fondation Biotope

n° 2 Novembre 2023

Analyse comparée de quatre enregistreurs passifs d'ultrasons.

Quelles conséquences pour l'analyse et l'interprétation des données d'activité de chiroptères ?



Thierry DISCA

SOMMAIRE

Documents techniques de la Fondation Biotope. n°2 - novembre 2023

Analyse comparée de quatre enregistreurs passifs d'ultrasons.

Quelles conséquences pour l'analyse et l'interprétation des données d'activité de chiroptères ?

Thierry DISCA



Intervention.
© Vincent Koch / Biotope

Résumé / Abstract p.3
Introduction p.5

MATÉRIEL ET MÉTHODES p.7

Dispositif p.7
Paramétrage des enregistreurs p.8
Analyse des enregistrements p.10

RÉSULTATS p.11

Qualité des enregistrements p.11
Capacités de détection p.17
Résultats en fonction des paramètres météorologiques p.25

DISCUSSION p.35

Références p.39
Remerciements p.40

En couverture : mât de mesures équipé de microphones.
© Vincent Koch / Biotope

Fondation Biotope, 3 rue Mézin Gildon, 97354 Remire-Montjoly

ISSN : 3001-7262

RÉSUMÉ

Depuis l'apparition des enregistreurs automatiques et leur usage de plus en plus courant, voire exclusif, pour étudier l'activité des chiroptères, très peu d'études comparatives des produits et de leur performance ont vu le jour. La plus célèbre, celle de Adams *et al*. (2012) - Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats -, date déjà de 10 ans, alors que plusieurs générations de nouveaux détecteurs et de micros sont arrivées sur le marché et sont largement utilisés. Pourtant, il est aisé de penser, et certains l'ont constaté, que des biais existent à tous les niveaux de la chaine d'acquisition entre une chauves-souris émettrice et l'écriture d'un fichier numérique. Ils peuvent être dus à la diversité des micros, à leur degré d'usure, aux divers réglages de sensibilité, aux options prises pour le fonctionnement des trigger, etc. On peut donc légitimement se demander s'il est bien raisonnable de comparer les résultats obtenus par différents enregistreurs et ce qu'ils signifient également ?

Le bureau d'études Biotope, en partenariat avec un exploitant éolien, s'est donc lancé dans une première étude visant à tester et comparer 5 dispositifs installés durant 1 mois et demi sur mât de mesure dans le sud de la France : un Batlogger WE-X, un GSM Batcorder, un BatmodeS+, et deux SM3BAT équipés de micros différents.

Plusieurs enseignements ressortent de ce test. En premier lieu, on constate des différences importantes en termes de qualité des enregistrements délivrés, bien que les capsules micro utilisées soient de technologie comparable. Sur ce point le Batlogger WE-X et le SM3BAT avec micro SMM-U2 se placent en tête. En second lieu, il se confirme une forte disparité en termes de détectabilité. Cela se traduit par des défauts de détection plus ou moins importants selon les appareils et donc une production significativement différente du nombre de fichiers exprimant les contacts de chiroptères. Outre les différents réglages de gain, de sensibilité... et les problématiques de filtrage, les conceptions assez différentes des trigger de chacun des appareils testés sont probablement à l'origine de la disparité des résultats obtenus.

Le choix du matériel peut ainsi entraîner des conséquences importantes sur les résultats d'une étude et leur analyse. Pour le montrer, nous avons choisi d'analyser les résultats obtenus à partir des 5 dispositifs dans le but d'établir des scenarii de bridage d'éoliennes. Il s'agit alors de croiser les données d'activité obtenues avec les paramètres de vent et de température enregistrés pour établir des fonctions de cumul ou d'affinité. Les écarts de données fournies par les différents dispositifs ont engendré des modélisations plus ou moins précises, avec des défauts d'appréciation et une limite de la pertinence pour les appareils ayant fourni peu de fichiers positifs.

Enfin, cette étude comparative souligne la faible pertinence de comptabiliser les fichiers comme unité de contacts lorsque l'on utilise des enregistreurs passifs pour étudier l'activité des chiroptères, et réhabilite l'idée de la minute positive avancée par Miller puis Haquart.

ABSTRACT

Since the emergence of automatic recorders and their use to study chiropteran activity, which is becoming increasingly common, indeed exclusive, there have been very few studies comparing the products and their performance. The most famous, by Adams *et al* (2012) - Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats -, is already 10 years old, whereas several generations of new detectors and microphones have arrived on the market and are widely used. However, it is easy to think, and some have noted, that biases exist at all levels of the acquisition chain between an emitting bat and the writing of a digital file. They may be due to the diversity of microphones, their degree of wear and tear, the various sensitivity settings, the choices made for trigger function, and so on. So we can legitimately ask ourselves if it really is reasonable to compare the results obtained by different recorders and what they also mean?

The Biotope consultancy, in partnership with a wind farm operator, therefore carried out an initial study aimed at testing and comparing 5 devices installed over a period of one and a half months on measurement masts in the south of France: a Batlogger WE-X, a GSM Batcorder, a BatmodeS+, and two SM3BAT equipped with different microphones.

Several things emerge from this test. Firstly, there are major differences in the quality of the recordings delivered, despite the fact that the microphone capsules used are of comparable technology. On this point, the Batlogger WE-X and the SM3BAT with SMM-U2 microphones come out in first place. Secondly, there was a significant disparity in terms of detectability. This means more or less significant detection faults depending on the equipment, and therefore a significantly different production of the number of files equivalent to chiropteran contacts. In addition to the different settings for gain, sensitivity, etc. and filtering problems, the quite different trigger designs of each of the devices tested are probably at the source of the disparity in the results obtained. In addition to the different settings for gain, sensitivity, etc. and filtering problems, the quite different trigger designs of the recorders tested are probably at the source of the disparity in the results obtained.

The choice of equipment can therefore have a major impact on the results of a study and their analysis. To demonstrate this, we have chosen to analyse the results obtained from the 5 devices in order to establish scenarios for wind turbine curtailment. This involves correlating the activity data obtained with the wind and temperature parameters recorded in order to establish cumulative or affinity functions. The discrepancies in the data supplied by the various devices have produced models of varying degrees of accuracy, with errors of assessment and limited relevance for devices that have supplied few positive files.

Finally, this comparative study highlights the limited relevance of counting files as a unit of contacts when using passive recorders to study chiropteran activity, and rehabilitates the idea of the positive minute proposed by Miller and Haquart.

INTRODUCTION

L'amélioration des connaissances sur les chiroptères, basées sur l'enregistrement de leurs émissions acoustiques, a considérablement évolué ces 20 dernières années. Elle s'est particulièrement accentuée avec l'apparition de détecteurs à ultra-sons de plus en plus performants. Parmi ceux-ci, on trouve une catégorie d'appareils qui fonctionnent de façon automatique, déclenchant un enregistrement à partir d'une source ou d'un ensemble d'évènements ultrasonores captés par le microphone. La décision de déclencher un enregistrement, appelé « trigger », relève de process électroniques et logiques propres à chaque type d'appareils et la plupart du temps opaques (Parsons & Szewczak, 2009). De nombreux facteurs, tels que l'intensité et la directivité d'un signal, la qualité et les spécificités d'un microphone (Darras *et al*., 2020), son degré d'usure, les différents réglages possibles de l'appareil comme le niveau de gain, la qualité des composants notamment les câbles et connectiques électriques, le taux d'échantillonnage, etc. rentrent en ligne de compte avant d'aboutir à l'écriture d'un fichier numérique sur un support de stockage comme une carte mémoire. À chaque étape de la chaîne, des distorsions ou biais peuvent survenir. Il n'est ainsi pas garanti que pour un même nombre d'évènements, par exemple x chauves-souris qui passent devant un microphone d'un enregistreur passif, on aboutisse au même résultat en matière de fichiers produits, soit x fichiers d'un dispositif (appareil + câble + microphone) à l'autre (Britzke *et al*., 2013). En admettant qu'un même type de dispositif d'un fabricant donné se comporte toujours de façon identique à réglages équivalents, ce qui reste encore à démontrer étant donné l'absence de certificat de calibration, nous nous sommes posé la question de savoir si les résultats obtenus avec différents appareils disponibles aujourd'hui sur le marché étaient similaires et comparables ?

En effet, très peu d'études comparatives de ce genre se sont lancées depuis l'avènement des enregistreurs automatiques et leur usage massif pour les expertises sur les chiroptères. La plus célèbre, celle de Adams *et al*. (2012) date déjà de 10 ans, alors que plusieurs générations de nouveaux détecteurs et de microphones sont arrivées sur le marché et sont largement utilisées. Des disparités importantes avaient déjà été révélées.

Or pour toutes les études qui sont produites, on mesure l'activité des chiroptères en comptabilisant le nombre de contacts obtenus par unité de temps (Britzke *et al*., 2013). Pour un détecteur automatique, chaque contact correspond en fait à un fichier numérique produit et enregistré par l'appareil à la suite d'un triggage positif. Il contient une séquence sonore d'une durée variable, mais dont le maximum peut être paramétré. Par convention, cette durée maximum est fixée à 5 secondes, correspondant à une durée moyenne d'un passage de chauve-souris en vol dans la sphère de détection des microphones couramment utilisés (Barataud, 2020). Cette méthode de comptage est inspirée et issue des travaux réalisés à l'aide d'un détecteur non automatique manipulé par un observateur humain qui compte de lui-même, ou décide d'enregistrer volontairement, tout

contact fourni par l'appareil et entendu à l'aide d'écouteurs. Dans le cas des détecteurs passifs, c'est le trigger de l'appareil qui remplace l'observateur humain.

On peut donc se demander s'il est bien raisonnable de comparer les résultats obtenus par divers enregistreurs entre eux, ou avec ceux obtenus en comptage manuel, et ce qu'ils signifient conformément à ce qu'avaient déjà soulevé en 2013 Britzke *et al*. ? L'étude récente de Barré K. & Kerbiriou C. (2021), sur l'activité de vol des chiroptères à hauteur des pales des éoliennes, constate également que l'activité enregistrée est surtout expliquée par l'hétérogénéité du matériel et du paramétrage, et qu'il est très difficile de s'en extirper pour étudier d'autres variables. Pourtant, en 2001 déjà, Miller avait proposé une façon de comptabiliser l'activité des chiroptères qui relevait d'un compromis permettant de lisser un certain nombre de biais liés aux disparités de conditions et de matériels. Il s'agit de considérer un contact comme étant la présence d'un chiroptère d'une espèce au cours d'un intervalle de temps d'une minute, peu importe le nombre de contacts. Cet indice dénommé « Minute positive » a été repris par Haquart en 2013 pour établir un référentiel d'activité des différentes espèces de chiroptères sur la zone méditerranéenne en France, le référentiel Actichiro®, mis à jour et utilisé par Biotope aujourd'hui.

Pour tenter de mieux comprendre comme fonctionnent les enregistreurs d'aujourd'hui, et tester la pertinence de la « minute positive » vis-à-vis des disparités du matériel, Biotope, en partenariat avec l'exploitant éolien, s'est lancé dans une étude visant à tester et comparer 5 dispositifs installés durant 1 mois et demi sur un mât de mesure dans le sud de la France.



Mât de mesures.
© Vincent Koch / Biotope

MATÉRIEL ET MÉTHODES

DISPOSITIF

5 dispositifs utilisant 4 enregistreurs passifs parmi les plus utilisés sur le marché de l'expertise « longue durée » ont été testés :

- Batlogger WE-X avec microphone FG (Elekon AG, Suisse),
- GSM-Batcorder (EcoObs, Allemagne) avec microphone disque fourni avec le coffret d'extension,
- BatmodeS+ (Bioacoustic technology, Allemagne) avec microphone FG GM-50,
- SM3BAT (Wildlife acoutics, USA) équipés d'un microphone SMM-U1, protégé dans un cylindre PVC avec réflecteur inox,
- SM3BAT avec deux microphones SMM-U2, l'un installé à 10 mètres et l'autre à 52 mètres. Les données de cet enregistreur ont été utilisées dans cette étude comme référence.

Ces enregistreurs ont été installés sur un mât de mesures météorologiques classiquement utilisé pour les études préalables à l'implantation d'un parc éolien. Le site d'étude est localisé dans le département de l'Aude à proximité de Narbonne.

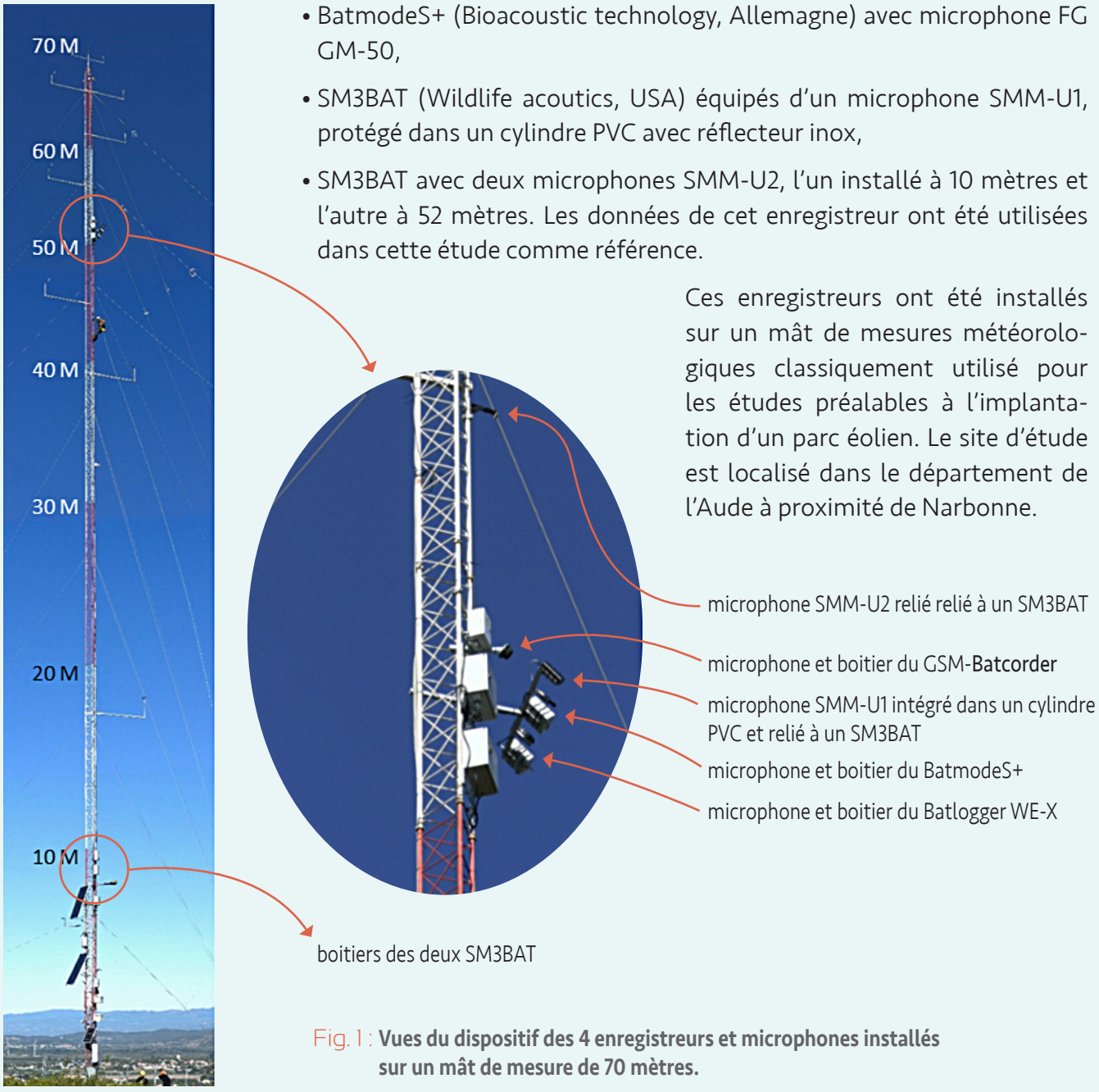


Fig. 1 : **Vues du dispositif des 4 enregistreurs et microphones installés sur un mât de mesure de 70 mètres.**

Pour des raisons de place sur le mât et de configuration des coffrets électriques contenant les enregistreurs, les boitiers ont été placés à des hauteurs différentes : à 10 m. pour les deux SM3BAT et à 50 m. pour le Batlogger, le Batmode et le GSM-Batcorder. De ce fait, les microphones ont été reliés aux boitiers par les câbles des différents fabricants de longueurs différentes, ce qui pouvait constituer un biais : un très court câble pour le GSM-Batcorder dont le microphone était monté directement sur le boitier d'étanchéité, des câbles de 3 mètres pour le Batlogger et le Batmode, des câbles de 50 mètres pour les SM3BAT. Les microphones du Batlogger (monté sur le support de fixation pour nacelle avec antenne LTE), du BatmodeS+ (modèle monté sur cylindre prévu pour nacelle avec antenne LTE) et du premier SM3BAT (modèle SMM-U1 cylindrique) ont été installés les uns à côté des autres sur une structure rigide en métal, avec une orientation inclinée vers le bas à 45°, et déportés du mât. Le microphone du GSM-Batcorder, fixé directement au boitier de protection contenant l'enregistreur, a été installé à une trentaine de centimètres au-dessus de la structure de déport des autres microphones. Le microphone SMM-U2 installé à 52 m. du second SM3BAT servant de « référence » était donc placé à environ deux mètres au-dessus des quatre autres.

L'ensemble des coffrets électriques est alimenté par plusieurs panneaux photovoltaïques de 200 watts qui ont été installés au sol à quelques mètres du mât.

PARAMÉTRAGE DES ENREGISTREURS

Pour mieux comparer les différents enregistreurs, même si les process de réglages sont différents, nous avons réglé les paramètres propres à chacun des appareils en suivant certaines préconisations tirées de Adams *et al*. (2012).

Pour le Batmode, le réglage est complexe et fait appel au software RECORDER de Avisoft, dans le panneau de configuration du Trigger. Les réglages par défaut proposés par le fabricant ont été adoptés avec une fréquence minimum à 8 kHz pour pouvoir détecter le Molosse de Cestoni, non présent en Allemagne (Fig. 2)

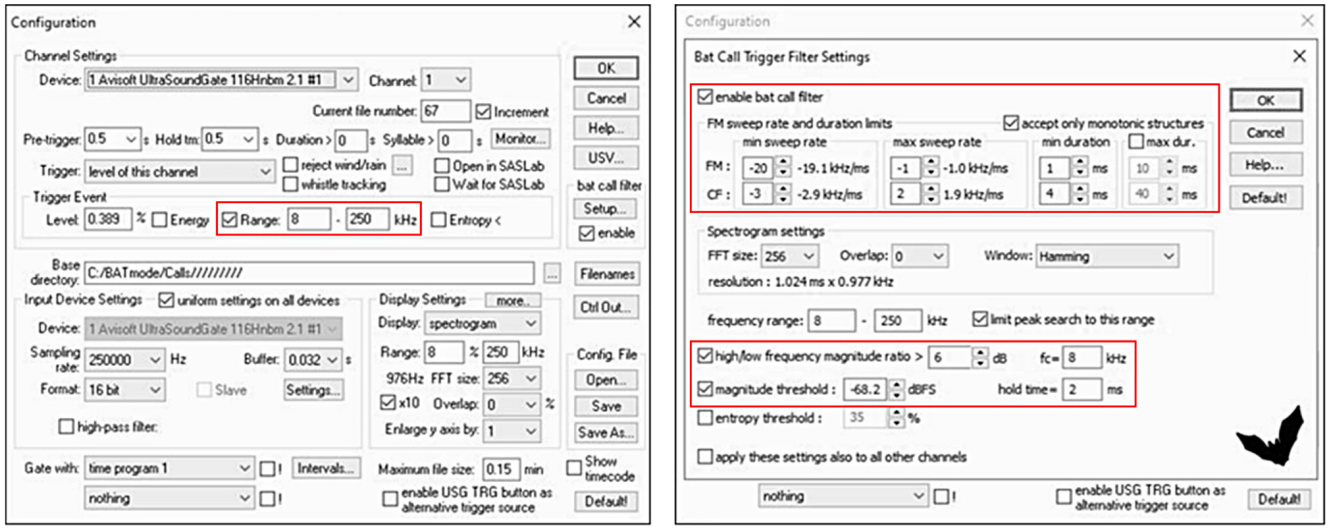


Fig. 2 : **Fenêtre de réglages utilisés pour le BatmodeS.**

Pour le Batlogger, un « gain » à 18 dB, une gamme de sensibilité de 8 à 160 kHz, un « Crest factor » déterminant la sensibilité du Trigger réglé à 4, la « Période » (Period trigger) permettant de distinguer des fréquences sinusoïdales de chiroptères des insectes est gardée à sa valeur par défaut, le seuil de déclenchement est fixé à 25 dB SPL ; les autres réglages adoptés par défaut sont indiqués sur la Fig. 3.

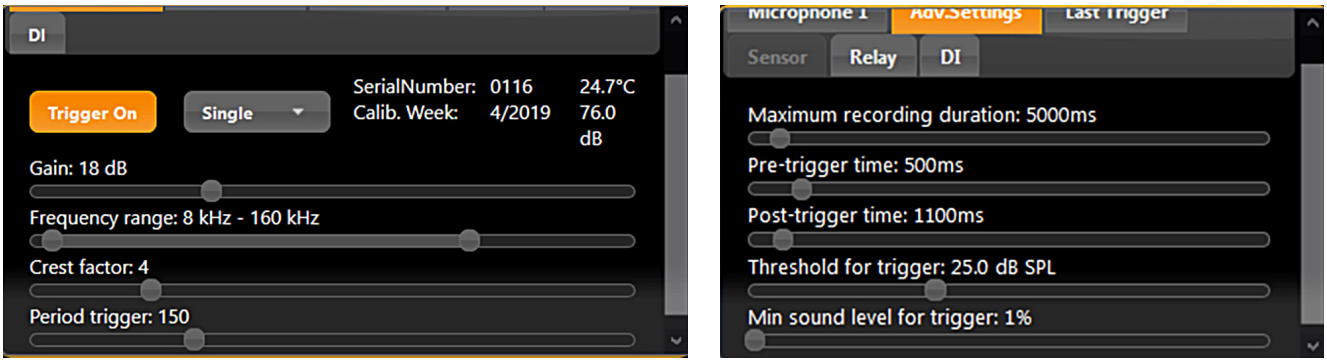


Fig. 3 : **Fenêtres de réglages utilisés pour le Batlogger WE-X.**

Pour le GSM-Batcorder, les réglages par défaut impliquent des problèmes de sensibilité et de production de fichiers contenant suffisamment de cris pour les espèces comme les noctules ou le Molosse de Cestoni adoptant de grands intervalles entre cris. C'est pourquoi le mode « QUALITY » lié à la sensibilité du Trigger est passé de 20 à 30, et le « POSTRIGGER » à 600 ms au lieu de 200 ms. Les autres réglages ont été gardés à savoir : un « treshold » (seuil de sensibilité) à -36 dB, une fréquence minimale passée de 16 à 14 kHz (maximum possible lié au filtre passe-haut de l'appareil) ce qui peut représenter une limite de sensibilité sur les signaux plats de Molosse de Cestoni, et le filtre de bruit (« Noise Filter ») mis sur « Off ».

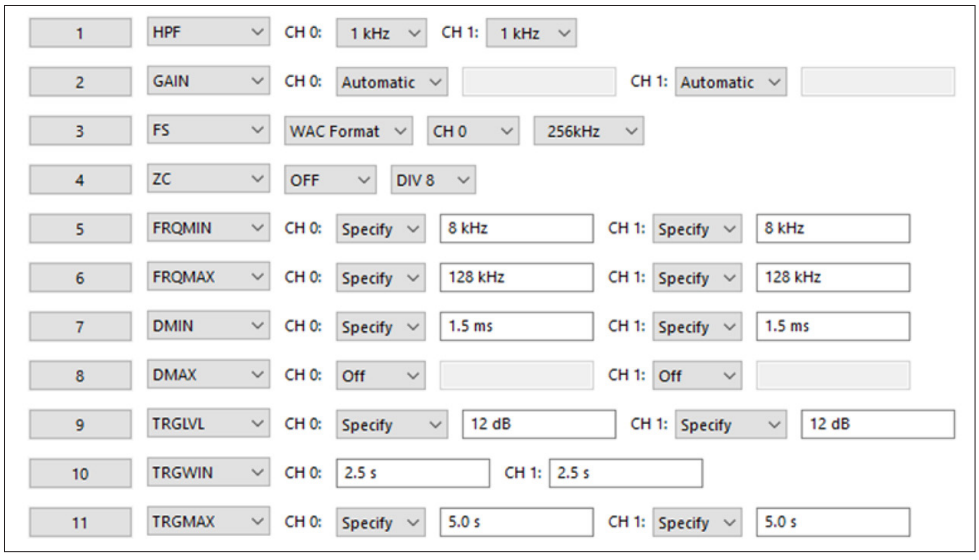


Fig. 4 : **Fenêtre de réglages utilisés pour le SM3BAT.**

Pour le SM3BAT, nous avons adopté un taux d'échantillonnage à 256 kHz pour un « range de sensibilité » allant de 8 kHz à 128 kHz, un « gain » mis sur automatique soit 12 dB, une durée minimale de 1.5 ms, un niveau à 12 dB et une taille de fenêtre de 2.5 ms pour le trigger (Fig. 4).

ANALYSE DES ENREGISTREMENTS

À l'issue de la période, les cartes mémoire et disques durs des différents appareils ont été récupérés et les fichiers contenant les séquences sonores enregistrées ont été analysés à l'aide du logiciel Sonochiro ® Biotope version 4.1. Ce logiciel incorpore un système de détection de signaux dans une séquence, puis de mensuration de 42 paramètres sur ces signaux qui sont ensuite analysés et comparés par RandomForest à un classificateur contenant une base de référence des espèces du sud de la France. Chaque séquence identifiée correspond à un contact, sur la base d'une durée maximale de 5 secondes par fichier. Les identifications sont ensuite contrôlées visuellement à l'aide du logiciel Sonoview ® Biotope inclus dans la suite Sonochiro et qui permet un affichage visuel des signaux mesurés par séquence et un tableur de saisie des informations dont « l'Id » d'identification valide. Le cas échéant, pour une meilleure identification en appliquant la méthode de M. Barataud (2020), le logiciel Batsound Pro 4.1 (Pettersson) a été utilisé. Ce dernier permet l'affichage complet du sonagramme et l'écoute de la séquence.

L'activité par espèce ou groupe d'espèces, dans le cas d'identifications délicates comme le groupe Pipistrelle de Kuhl / Pipistrelle de Nathusius, est ensuite mesurée en calculant le nombre de contacts obtenus par nuit. Pour étudier l'effet du lissage de l'activité vis-à-vis des biais liés aux différents matériels utilisés, l'activité a également été mesurée en « minutes positives » par nuit. Une minute est dite « positive » quand au moins un chiroptère d'une espèce ou groupe d'espèces donné est enregistré au cours de celle-ci. Dans cette fenêtre temporelle plus étendue on peut s'attendre en effet à ce que la capacité de déclenchement ou la probabilité à détecter un évènement de chiroptère soit semblable ou en tout cas plus comparable. Des tests statistiques de Haquart A. / Biotope (2013) ont montré que les variations liées au matériel étaient moins fortes avec cette unité de dénombrement en évitant des écarts de 1 à 10 en cas de forte activité. En contrepartie, la « minute positive » lisse légèrement les pics d'activités brefs et soudains qui sont mieux détectés avec une fenêtre temporelle de dénombrement de 5 secondes.

Pour comparer la qualité des enregistrements obtenus, nous avons utilisé le logiciel Batsound Pro 4.1 (Pettersson) avec les réglages équivalents à savoir : une taille de fenêtre FFT de Hanning de 512 points, sauf pour le Batcorder dont le taux d'échantillonnage à 500 kHz imposait d'opter pour une résolution de fenêtre de 1024 points, et un « treshold » de restitution visuelle à 10.

.

QUALITÉ DES ENREGISTREMENTS

Bruit de fond, parasites et interférences

Sur ce point, évaluant la capacité des appareils à « gommer » des ambiances sonores parasites, notamment des interférences électromagnétiques, du vent, des claquements, des insectes, etc., c'est le Batmode qui s'en est le mieux sorti étant donné son système de calibrage et de préamplification du microphone pour atténuer le bruit ambiant. En accentuant fortement le bruit de fond sur une même séquence de chasse de Noctule de Leisler obtenue le 27 octobre à 19h39 sur le Batmode, celui-ci est parfaitement contenu, exempt de lignes de parasitage, et parfaitement stable en dB sur l'ensemble des fréquences (Fig. 5 et Fig. 6).

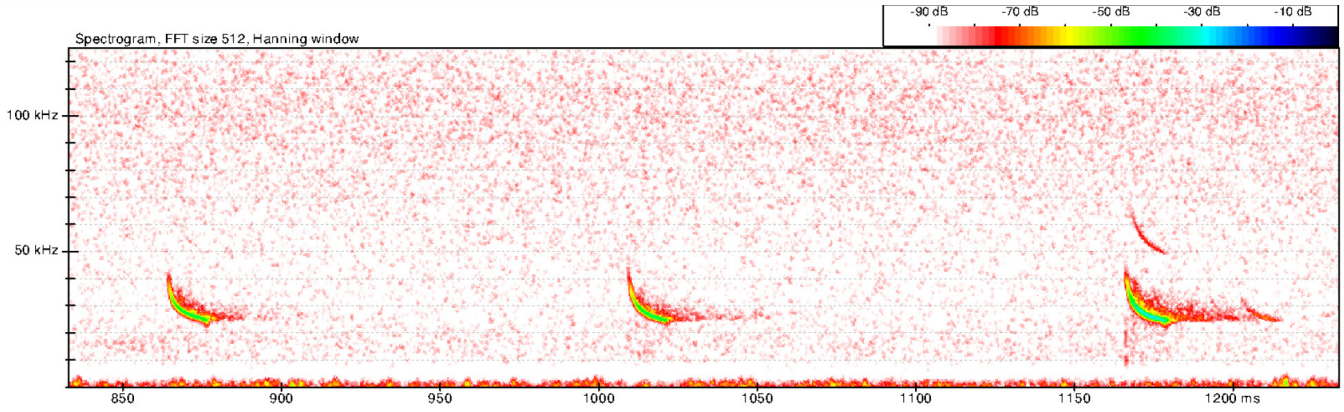


Fig. 5 : **Vue d'un échantillon d'une séquence de Noctule de Leisler enregistrée avec le Batmode le 27 oct. 2022 à 19h39.**

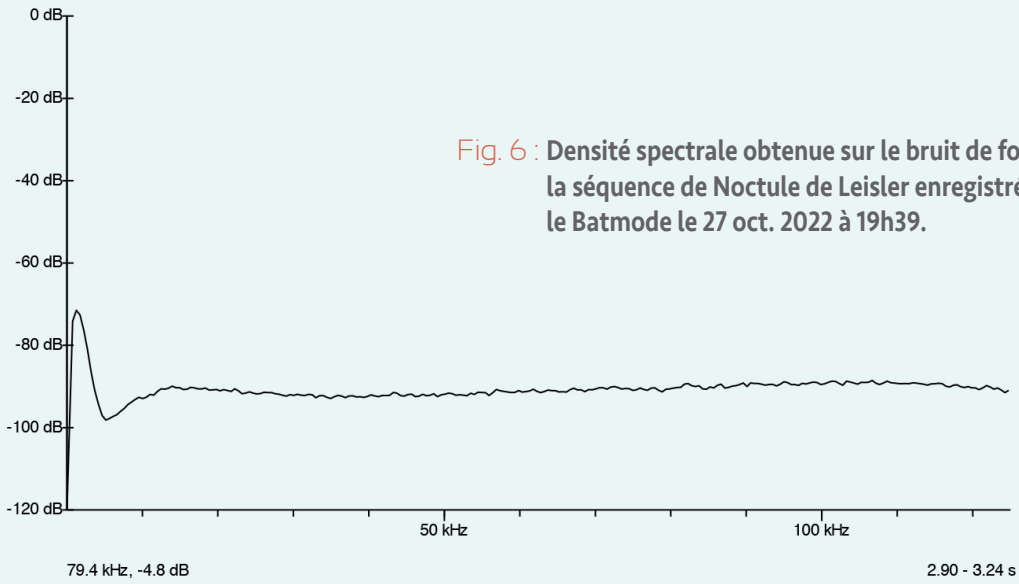


Fig. 6 : **Densité spectrale obtenue sur le bruit de fond de la séquence de Noctule de Leisler enregistrée avec le Batmode le 27 oct. 2022 à 19h39.**

Le bruit de fond sur le Batlogger est également très homogène sur la plage de fréquences, mais son intensité est beaucoup plus élevée et saturée par rapport aux autres appareils. Mais, le rapport signal / bruit reste très bon. Aucun bruit parasite n'est décelable. Le filtre passe-haut, permettant de filtrer les fréquences en dessous d'un seuil de fréquence réglable ou donné par défaut, joue également très bien son rôle en gommant les fréquences inférieures à 10 kHz (Fig. 7 et Fig. 8).

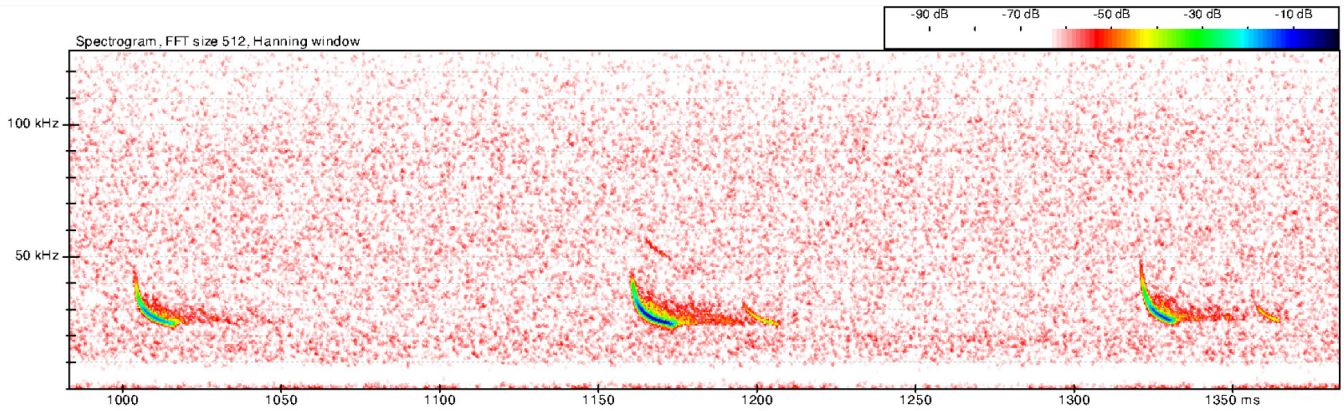


Fig. 7 : **Vue du même échantillon de la séquence de Noctule de Leisler enregistrée avec le Batlogger le 27 oct. 2022 à 19h39.**

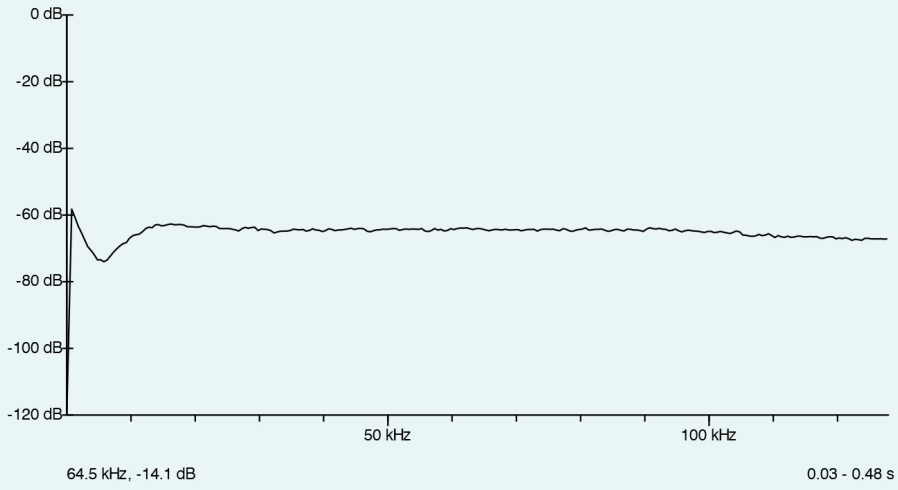


Fig. 8 : **Densité spectrale obtenue sur le bruit de fond de la séquence de Noctule de Leisler enregistrée avec le Batlogger WE le 27 oct. 2022 à 19h39.**

Concernant les SM3BAT, le parasitage extérieur est bien contenu, mais en revanche, bien que les signaux soient parfaitement restitués, on remarque un niveau d'intensité hétérogène dans le bruit de fond avec une forte accentuation sur la bande des 8-30 kHz pour le microphone SMM-U2 (voir les bandes rouge plus intenses sur les sonagrammes de la Fig. 9 et courbe de la Fig. 10), et avec un léger creux autour des 50 kHz, pouvant aboutir à une sensibilité accrue sur les espèces basses fréquences par rapport aux espèces émettant vers 50 kHz comme le Minioptère. On constate également des lignes de parasitage électromagnétique pour le microphone SMM-U1 qui était connecté avec 50 m. de câble comme le microphone SMM-U2, mais pour ce dernier le parasitage de ce type semble absent ou peu net (Fig. 11 et Fig. 12).

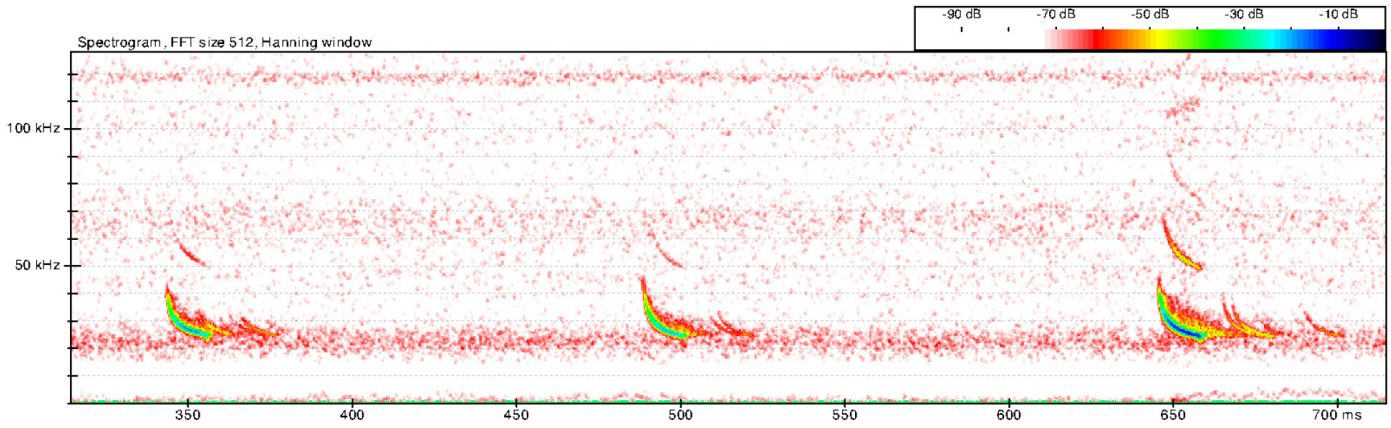


Fig. 9 : **Vue du même échantillon de la séquence de Noctule de Leisler enregistrée avec le SM3BAT et microphone SMM-U2 le 27 oct. 2022 à 19h39.**

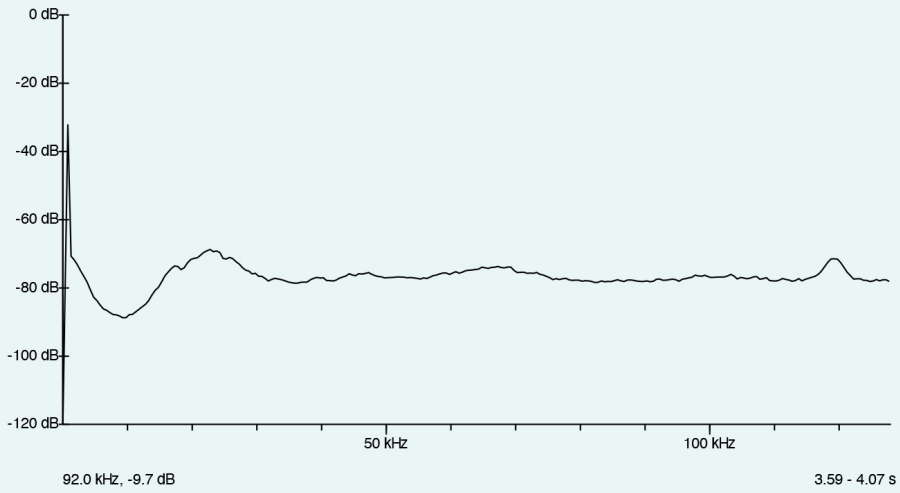


Fig. 10 : **Densité spectrale obtenue sur le bruit de fond de la séquence de Noctule de Leisler enregistrée avec le SM3BAT et microphone SMM-U2 le 27 oct. 2022 à 19h39.**

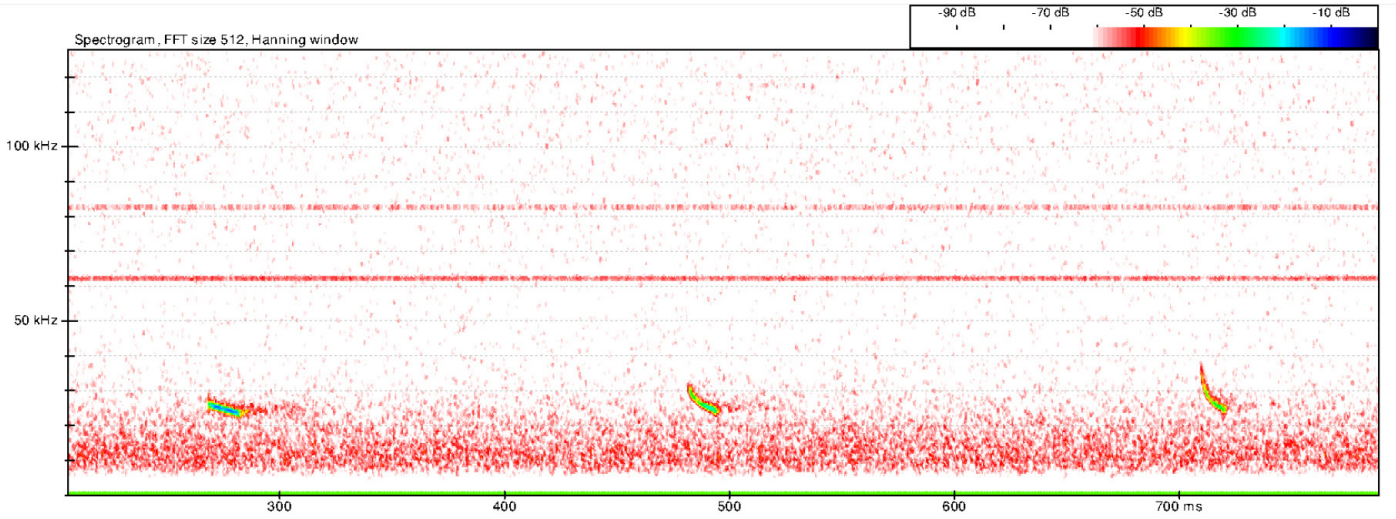


Fig. 11 : **Vue d'un autre échantillon d'une séquence de Noctule de Leisler enregistrée avec le SM3BAT et microphone SMM-U1 protégé dans un cylindre PVC le 27 oct. 2022 à 21h04.**

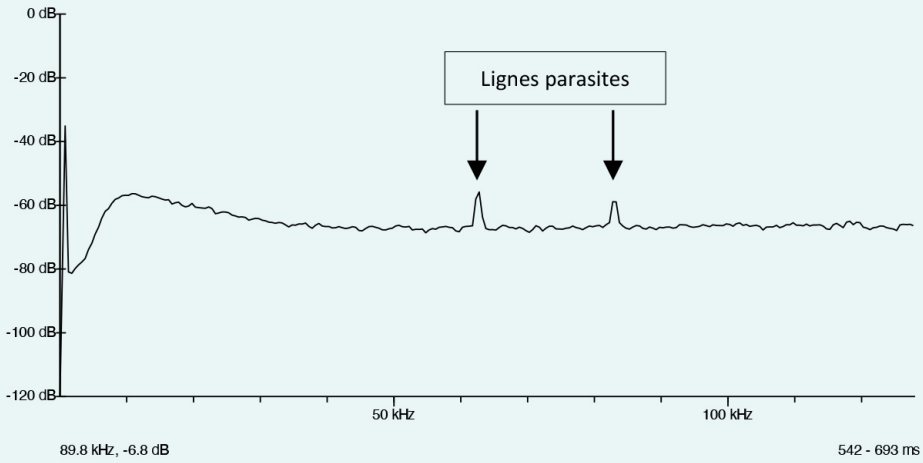


Fig. 12 : **Densité spectrale obtenue sur le bruit de fond de la séquence de Noctule de Leisler enregistrée avec le SM3BAT et microphone SMM-U1 le 27 oct 2022 à 21h04.**

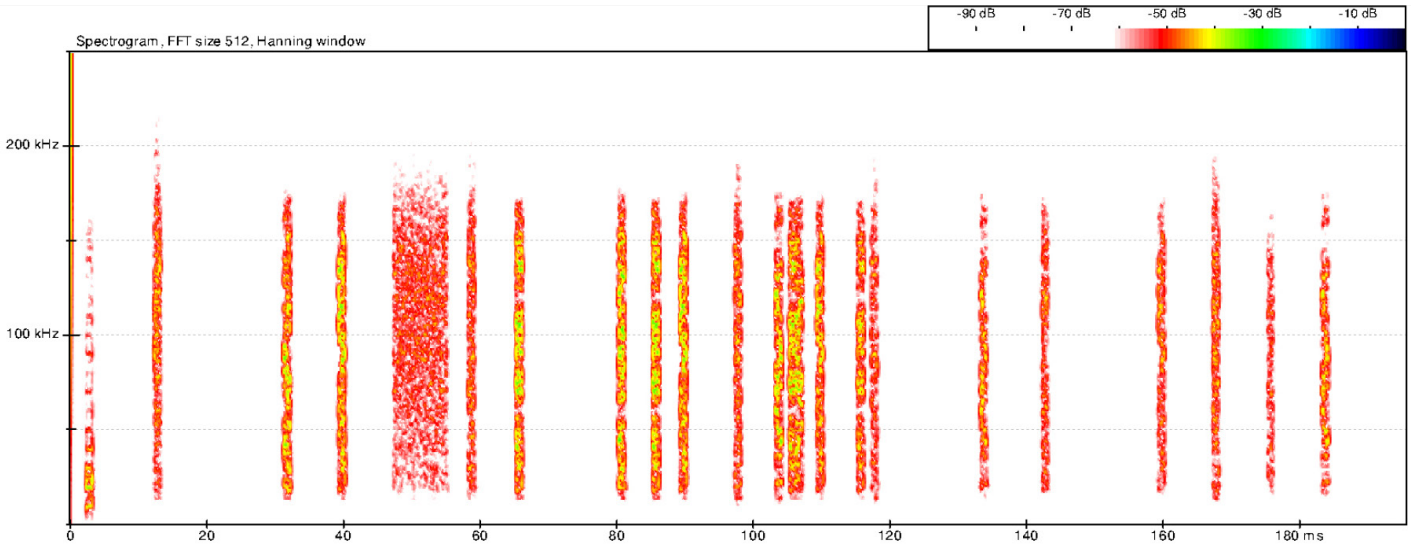


Fig. 13 : **Extrait d'un sonagramme montrant du parasitage régulièrement obtenu sur toute une série de fichiers issus du GSM-Batcorder.**

Sur le GSM-Batcorder, le filtrage du bruit de fond est réel et peut-être trop sévère, ce qui semble pouvoir atténuer l'enveloppe complète des cris. En revanche, aucun bruit ambiant ne vient polluer la séquence, ce qui garantit un parfait rapport signal / bruit pour une détection optimale des logiciels de détermination. La capsule est également un peu plus sensible autour des 20 kHz, mais cela reste très subtil et léger comme différence. Par ailleurs et sans véritable explication, le GSM-Batcorder a fourni un taux de fichiers parasites, probablement d'origine électromagnétique, assez important certaines nuits (voir Fig. 13).

Restitution des signaux

Sur cet aspect, l'ensemble des détecteurs, incorporant des capsules microphones relativement proches, se vaut. De petites différences peuvent néanmoins se percevoir (Fig. 14 page suivante).

Le meilleur rapport signal / bruit, avec un bon niveau d'intensité y compris sur des signaux de buzz qui sont « ténus », peu intenses et courts, est issu du SM3BAT avec microphone SMM-U2, suivi de près par le Batmode qui délivre une très bonne restitution des signaux par rapport à un bruit de fond très bien contenu. En revanche, pour ce dernier l'intensité globale des séquences délivrées est très faible, et l'on perd des signaux peu intenses. Le risque de rater des passages de chiroptères en limite de distance ou produisant des signaux à faible intensité est donc plus élevé que pour les autres. Cela est à mettre en relation avec l'outil de calibration du microphone qui s'ajuste en fonction de la mesure d'intensité du bruit de fond. Cette spécificité améliore nécessairement le rapport signal / bruit, mais peut impacter la détectabilité en cas de fortes variations du bruit de fond dues au vent par exemple.

Le GSM-Batcorder donne une atténuation du bruit de fond « trop parfaite », avec des signaux très bien restitués, mais qui semblent néanmoins « filtrés », perdant un peu leurs fréquences initiales sur les signaux à plus grande largeur de bande. Le filtrage passe haut se fait également sentir sur les signaux de buzz basses fréquences. L'ensemble est toutefois très bon, mais apparaît limité sur des signaux inférieurs à 20 kHz.

La restitution du Batlogger enfin est très bonne, malgré une tendance à la saturation liée à un gain assez fort qui se ressent également sur le bruit de fond très présent. Mais le rapport signal / bruit reste très bon et les cris sont très bien restitués et détectés par les logiciels de détermination.



Noctule de Leisler.
© Laurent Arthur

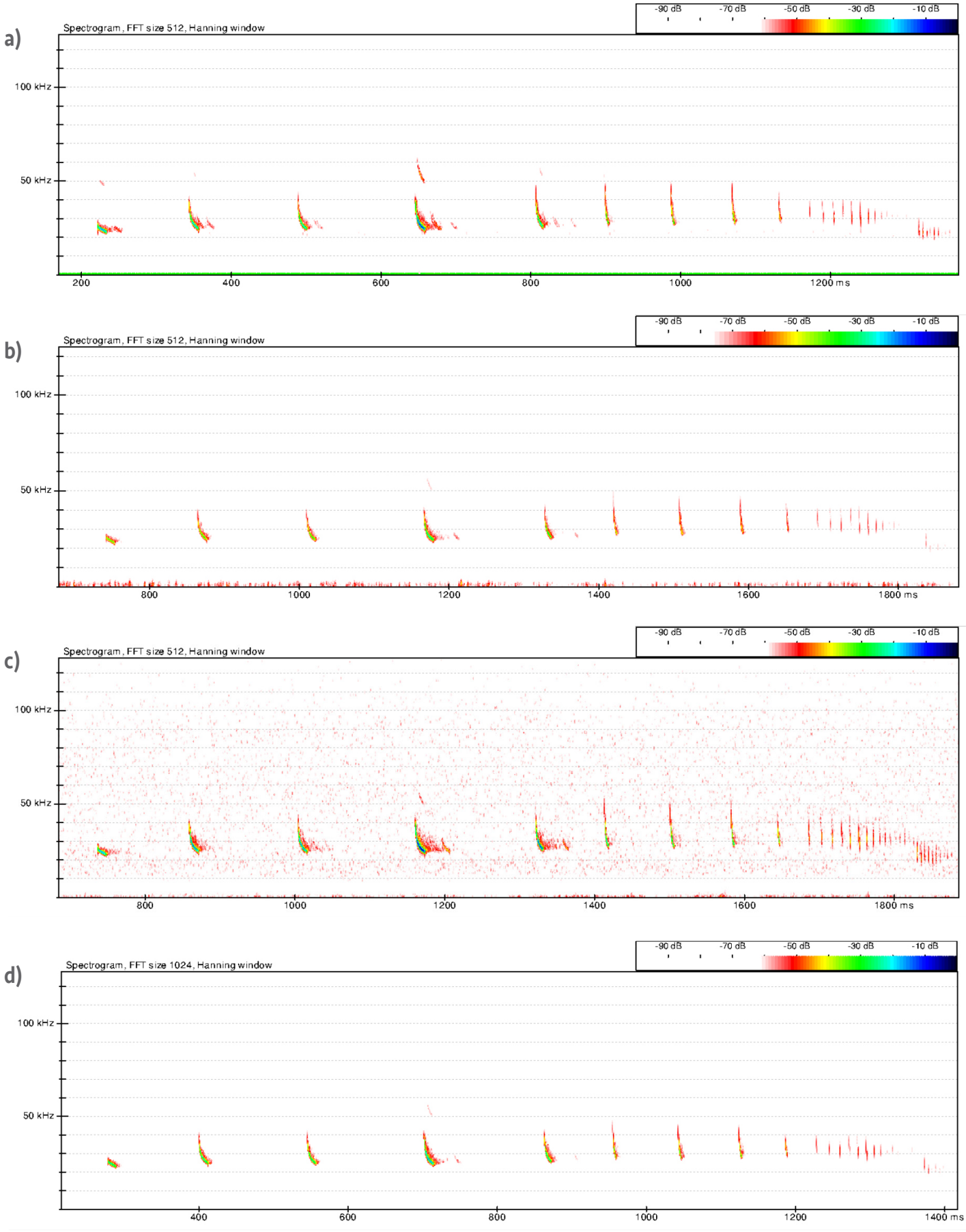


Fig. 14 : **Séquence complète d'une Noctule de Leisler en chasse contenant un « buzz », obtenue par l'ensemble des enregistreurs le 27 octobre 2021 à 19h39 à 50 mètres sur le mât de mesures du site étudié. a) SM3BAT-SMMU2, b) Batmode, c) Batlogger WE-X, d) GSM-Batcorder.**

CAPACITÉS DE DÉTECTION

Nombre d'espèces contactées

Sur l'ensemble des enregistreurs avec microphones disposés à 50 mètres de haut pour le Benchmark, sept espèces ont été détectées avec certitude.

Bien que certaines séquences du groupe des Pipistrelles de Kuhl et Pipistrelle de Nathusius aient laissé penser que les deux espèces sont passées sur le site, du fait de leurs caractéristiques de fréquences, de largeurs de bande et de formes du signal, toutes les séquences de ces deux espèces, très difficiles à différencier en l'absence de cris sociaux, ont été classées en tant que groupe Pipistrelle de Kuhl / Nathusius. Il est donc probable que cela soit plutôt 8 espèces qui soient concernées sur la période allant du 1er octobre au 18 novembre 2021. À cette liste, on peut rajouter deux autres espèces qui ont été enregistrées, mais uniquement par le microphone du bas du dispositif SM3BAT microphone SMM-U2 stéréo.

Tableau 1

Liste complète des espèces contactées sur le mât de mesures du site étudié entre le 1er octobre et le 18 novembre 2021

Nom commun	Nom scientifique	Liste rouge France UICN	Niveau d'enjeu DREAL Occitanie
Espèces contactées sur le dispositif du Benchmark à 50 m			
Pipistrelle commune	*Pipistrellus pipistrellus*	NT	Modéré
Pipistrelle de Kuhl	*Pipistrellus kuhlii*	LC	Faible
Pipistrelle de Nathusius	*Pipistrellus nathusii*	NT	Modéré
Pipistrelle pygmée	*Pipistrellus pygmaeus*	LC	Modéré
Vespère de Savi	*Hypsugo savii*	LC	Modéré
Noctule de Leisler	*Nyctalus leisleri*	NT	Modéré
Minioptère de Schreibers	*Miniopterus schreibersii*	VU	Très fort
Molosse de Cestoni	*Tadarida teniotis*	NT	Fort
Espèces supplémentaires contactées uniquement sur le microphone U2 du SM3BAT à 10 m			
Murin de Capaccini	*Myotis capaccinii*	NT	Fort
Oreillard gris	*Plecotus austriacus*	LC	Modéré

Tableau 2
Liste des espèces contactées sur le mât de mesures du site étudié entre le 1er octobre et le 18 novembre 2021 par chacun des appareils testés

Nom commun	Nom scientifique	Batlogger	Batmode	SM3BAT	GSM-Batcorder
Pipistrelle commune	*Pipistrellus pipistrellus*	X	X	X	X
Pipistrelle de Kuhl	*Pipistrellus kuhlii*	X	X	X	X
Pipistrelle de Nathusius	*Pipistrellus nathusii*	X	X	X	X
Pipistrelle pygmée	*Pipistrellus pygmaeus*	X	X	X	X
Vespère de Savi	*Hypsugo savii*	X			
Noctule de Leisler	*Nyctalus leisleri*	X	X	X	X
Minioptère de Schreibers	*Miniopterus schreibersii*	X		X	X
Molosse de Cestoni	*Tadarida teniotis*	X		X	X

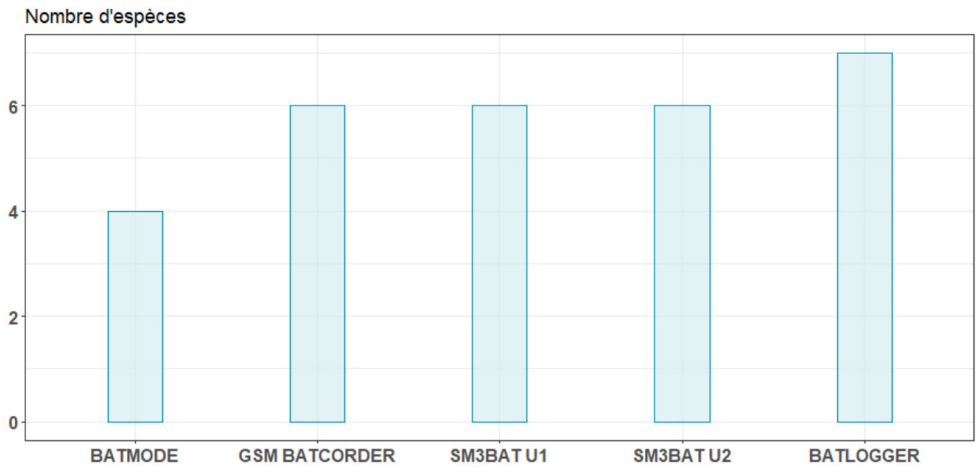


Fig. 15 : **Nombre d'espèces avérées, détectées par les différents microphones des enregistreurs placés à 50 m. entre le 1er octobre et le 18 novembre 2021.**

Pour ce qui est de la répartition par enregistreur, on constate que c'est le Batlogger qui a permis de détecter toutes les espèces évoluant en altitude, bien que les SM3BAT et GSM-Batcorder ne soient pas loin derrière, avec six espèces en commun, en n'ayant pas capté les deux séquences de Vespère de Savi. Il est possible aussi que certaines séquences détectées par ces enregistreurs et classées en Pipistrelle Kuhl / Vespère par manque de signaux caractéristiques soient réellement des Vespères. Le peu de séquences obtenues sur ce groupe ne permet donc pas de conclure à un défaut de détection et ces quatre enregistreurs ont globalement été capables de détecter toutes les espèces passant sur site.

En revanche, concernant le Batmode, outre le Vespère, deux autres espèces n'ont pas pu être détectées : le Minioptère de Schreibers et le Molosse de Cestoni.

Nombre de contacts obtenus

Le nombre de contacts obtenus, qui correspond en fait à un décompte du nombre de fichiers contenant des chiroptères après avoir filtré et supprimé tous les faux positifs soit les « parasites », révèle des différences assez significatives entre enregistreurs.

Le GSM-Batcorder est l'appareil qui a donné à la fois le moins de contacts et de minutes positives, avec 121 contacts ou 67 minutes positives obtenus sur toute la période de test.

Viennent ensuite les deux SM3BAT en nombre de contacts, mais avec une différence notable entre celui monté avec un microphone SMM-U1 qui a permis d'enregistrer 182 contacts, soit à peine plus que le GSM-Batcorder, et celui monté avec un SMM-U2 qui a donné 311 contacts. Pour rappel, le microphone U1 a été installé dans un cylindre PVC de protection aux intempéries sur lequel était installé un réflecteur métallique pour diriger les ondes vers la capsule micro. Alors que le microphone U2, moins sensible à la pluie, a été installé sans protection. Le microphone U2 était aussi à l'écart des autres micros, et donc sans environnement pouvant masquer les ondes ultrasonores se propageant vers la capsule.

Les deux appareils qui ont fourni le plus de fichiers positifs sont le Batmode et le Batlogger avec respectivement 429 et 373 contacts.

Mais les triggers des différents appareils se sont comportés de façon très différente. En regardant en détail le comportement des appareils sur des passages de chiroptères qui ont pu être détectés par plusieurs enregistreurs au même moment, on observe en effet une production en nombre et en taille de fichiers différente, ainsi qu'une capacité assez variable pour détecter et restituer les signaux d'un appareil à l'autre.

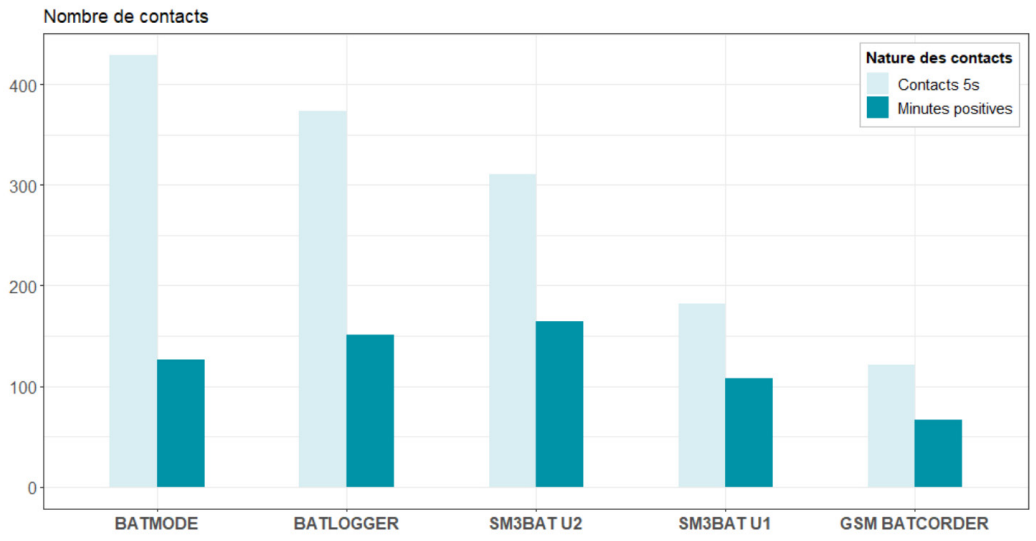


Fig. 16 : **Nombre de contacts exprimés en valeurs brutes du nombre de fichiers (contacts de 5 s.) et en minutes positives sur l'ensemble de la période test pour chacun des appareils.**

Pour le GSM-Batcorder, la fonction très sélective du trigger, malgré un réglage modifié de 20 à 30 pour la sensibilité, implique assez peu de cris détectés et des fichiers globalement très courts en durée. Sur l'exemple illustré sur la Fig. 17, restituant un passage de Pipistrelle commune et deux passages de Noctule de Leisler, on constate que le GSM-Batcorder a du mal à fournir des séquences suffisamment longues et le temps de latence pour enchaîner un enregistrement successif de fichiers est trop élevé lorsque l'activité de ou des individus dure plus de 5 secondes. Sur le Batmode on obtient de meilleurs résultats avec certains fichiers ayant une durée suffisante et contenant bien les signaux produits par le chiroptère détecté, mais on constate une instabilité dans le nombre de fichiers produits et leur durée. Par moments, lors des nuits très ventées visiblement, le Batmode déclenche assez peu et a tendance, à l'instar du GMS-Batcorder, à rater des évènements ou à n'enregistrer que des fichiers contenant peu de signaux (voir Fig. 18). En comparaison, le comportement du SM3BAT a été plus régulier donnant des fichiers assez longs et contenant bien la majorité des signaux émise. Le Batlogger réagit de façon intermédiaire entre le SM3BAT et le Batmode, en étant à la fois capable de produire des séquences qui atteignent la durée maximale de 5 secondes programmée, mais aussi des fichiers plus courts, coupés dès que les signaux deviennent peu intenses ou disparaissent. On obtient ainsi quasiment que des fichiers contenant des signaux de chiroptère informatifs, et très peu de bruit « vide » ou parasite. Le volume de fichiers délivrés au final est nettement inférieur aux autres et donc le poids informatique de stockage est faible et bien contenu, alors que le taux de fichiers contenant bien des chiroptères est équivalent, voire supérieur aux autres. La performance du Trigger du Batlogger, avec un excellent ratio nombre de fichiers délivrés et fichiers « positifs », est donc très bonne. Le SM3BAT montre des « vides » plus longs entre fichiers, mais ceux-ci sont en moyenne plus longs et contiennent de ce fait généralement plus de cris facilitant la détermination. Voir Fig. 17.

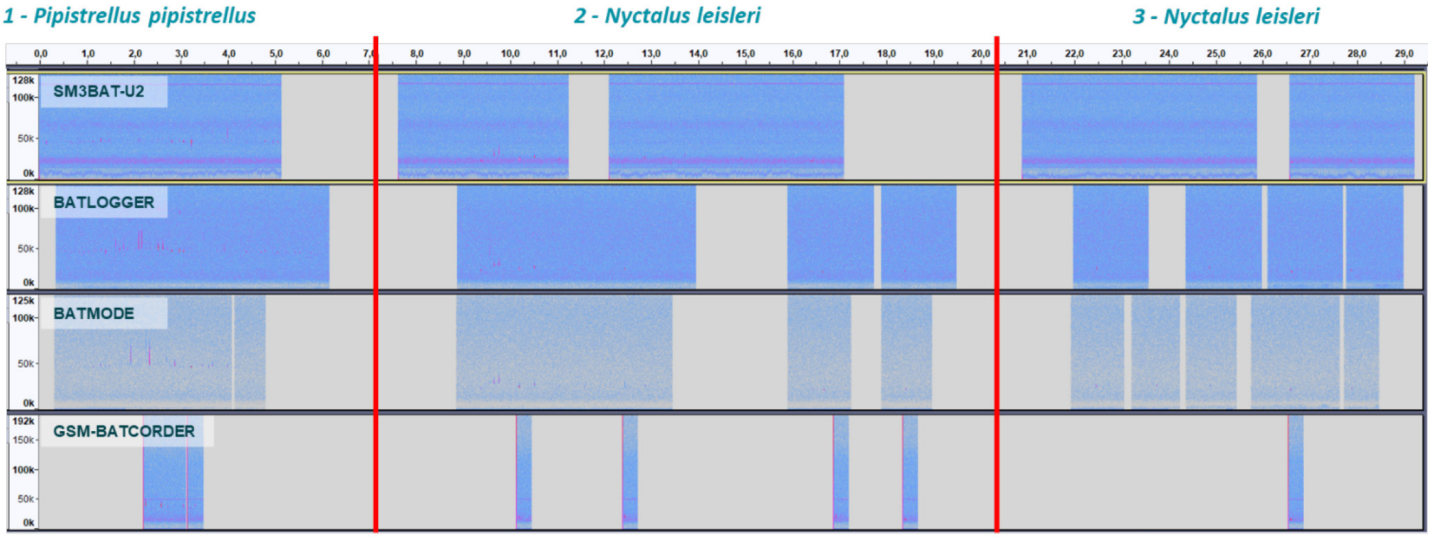


Fig. 17 : **Comparaison du nombre de fichiers obtenus et de leur durée pour trois passages de chiroptère, une Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) et deux Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*) captés et enregistrés par les quatre détecteurs testés. Réalisé avec Audacity.**

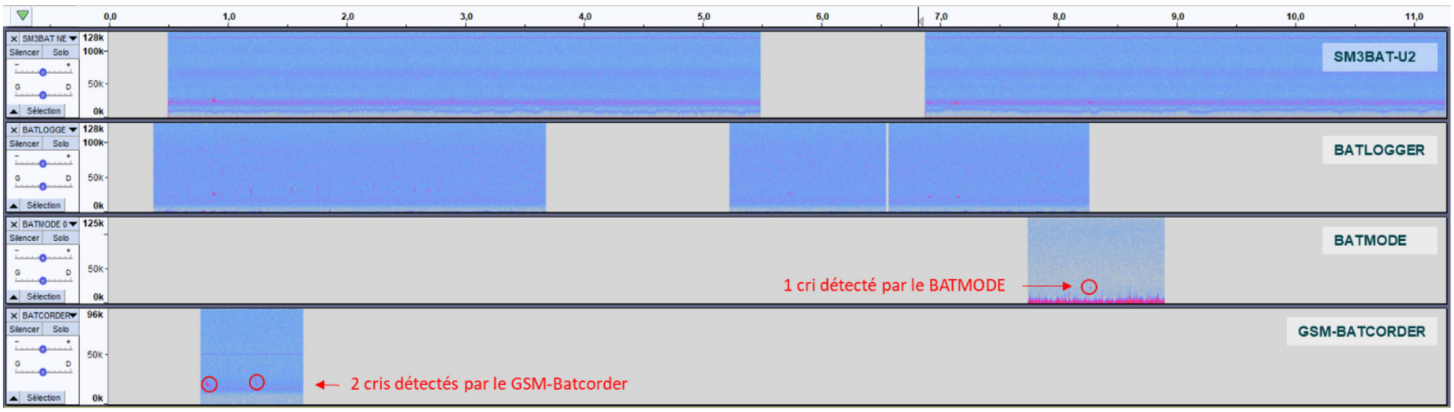


Fig. 18 : **Comparaison des fichiers obtenus pour un passage long d'une Noctule de Leisler le 26/10/2021 à 01h40, captée et enregistrée par les quatre détecteurs testés. Réalisé avec Audacity.**

Un autre paramètre facteur de disparité est le système de filtrage du bruit situé dans les fréquences audibles, le filtre dit « passe haut » qui permet de gommer l'amplitude sonore dont les fréquences se situent en dessous du seuil de réglage. Celui-ci peut être réglé à 10 kHz sur la plupart des appareils, et 14 kHz au maximum sur le GSM-Batcorder. Ce filtrage sévère du GSM-Batcorder s'est fait ressentir sur le Molosse de Cestoni détecté le 3 octobre à 22h45 durant 50 secondes, puisque par rapport aux autres enregistreurs (Batlogger, SM3BAT) qui ont fourni 7 à 9 fichiers, le GSM- Batcorder n'a donné qu'un très court fichier ne contenant qu'un seul cri. Celui-ci a pu être détecté car le signal était modulé avec une fréquence initiale supérieure à 14 kHz. Sur les signaux de croisière peu modulés et de fréquence < 14 kHz, les cris ne sont probablement pas détectés par le GSM-Batcorder. Le Batmode n'a pas non plus détecté ce passage long de Molosse de Cestoni.

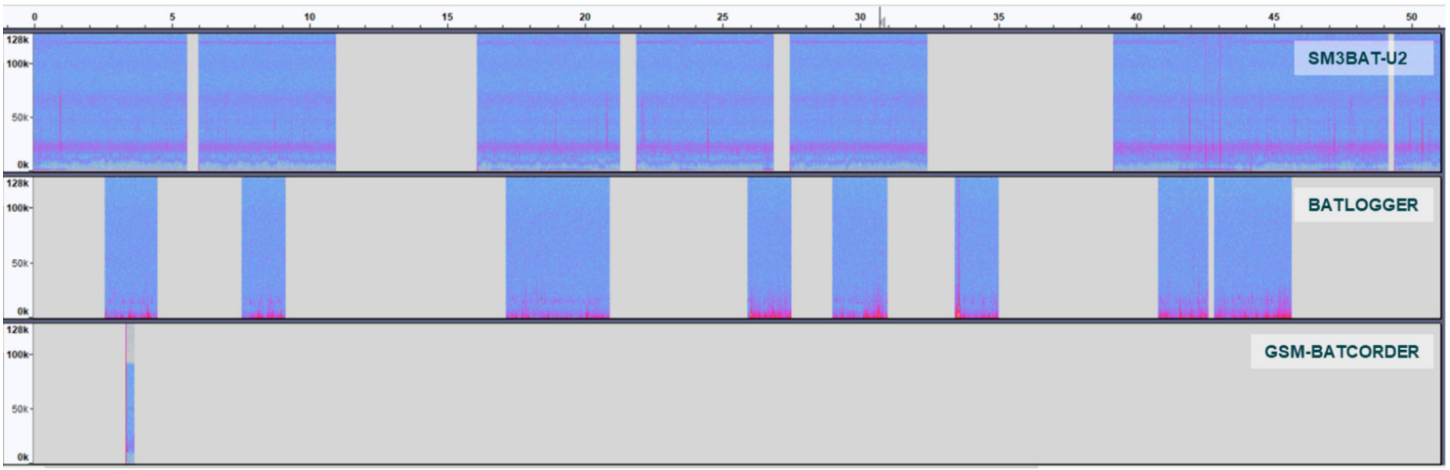


Fig. 19 : **Comparaison du nombre de fichiers obtenus et de leur durée pour un passage de Molosse de Cestoni (*Tadarida teniotis*) capté et enregistré par trois des quatre détecteurs testés. Réalisé avec Audacity.**

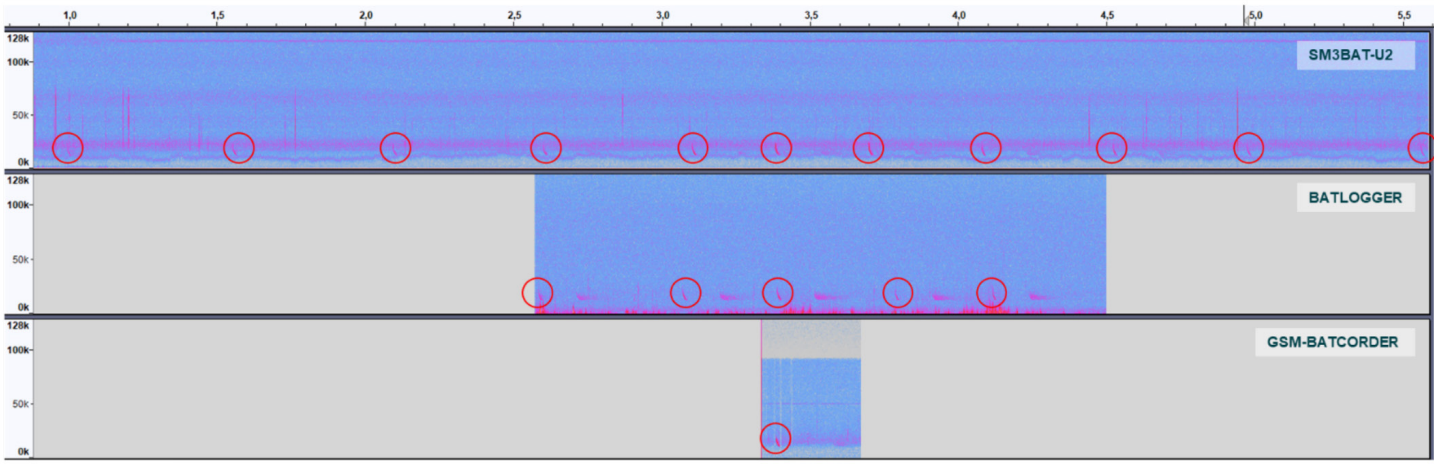


Fig. 20 : **Zoom illustrant le nombre de cris contenu sur un des fichiers enregistrés lors du passage d'un Molosse de Cestoni (*Tadarida teniotis*) capté et enregistré par trois des quatre détecteurs testés. Réalisé avec Audacity.**

Face à cette hétérogénéité de comportement qui conduit à des écarts de résultat importants lorsque l'on comptabilise les fichiers, autrement dit le nombre de contacts bruts, la mesure de l'activité exprimée en minutes positives permet de lisser quelque peu les écarts et les différences de fonctionnement. On peut s'attendre en effet à ce que la probabilité de détection / déclenchement soit la même d'un enregistreur à l'autre dans un laps de temps étendu à une minute plutôt que 5 secondes.

Les données en minutes positives permettent donc plus aisément d'établir des comparatifs. Il ressort alors que trois appareils ont à peu près donné des résultats similaires : le SM3BAT avec microphone U2 a donné 164 minutes positives (min+), suivi du BATLOGGER avec 151 min+ et du BATMODE avec 126 min+. Fait intéressant, on voit aussi qu'un appareil identique, un SM3BAT mais monté avec un autre micro, un SMM-U1 et protégé dans un cylindre en PVC installé à côté des autres sur la « barrette » du Benchmark, a donné un nombre de minutes positives significativement moindres (108 contre 164) que son homologue SM3BAT monté avec un microphone U2 non protégé (Fig. 16). Le GSM-Batcorder est nettement en retrait avec 67 min+.

Ces différences sont semblables lorsque l'on regarde plus en détail ce qui a été enregistré nuit par nuit sur l'ensemble de la période (Fig. 21).

Le SM3BAT avec microphone U2 et le Batlogger sont les deux appareils qui ont été les plus réguliers en fournissant des fichiers de façon similaire sur les périodes de moins forte activité, notamment début octobre et sur la fin de la période début novembre. Sur ces phases d'activité faible, le Batmode est devenu pratiquement « muet ».

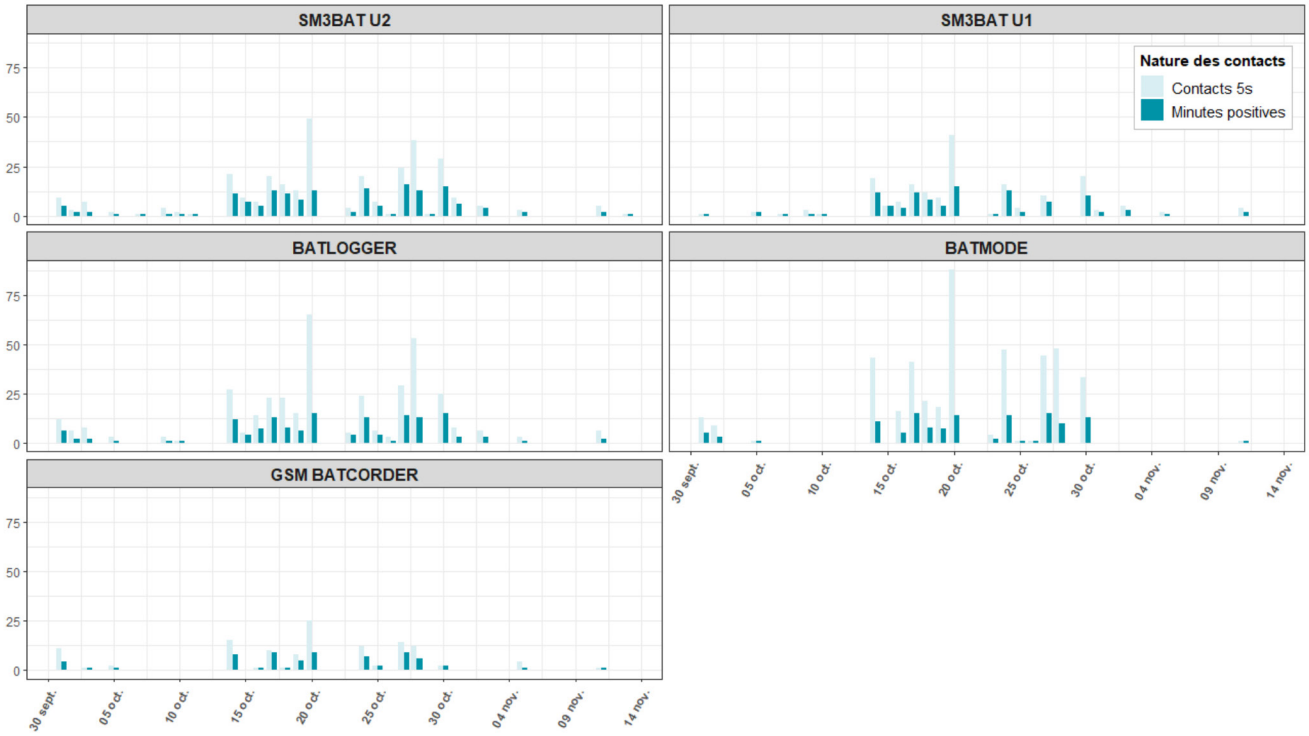


Fig. 21 : **Répartition de l'ensemble des contacts obtenus sur les différents enregistreurs, exprimés en nombre brut de contacts (fichiers de 5 s. max) et en minutes positives du 1er octobre au 19 novembre 2021.**

Concernant la mesure de l'activité exprimée en minutes positives pour les différentes espèces détectées, c'est globalement le SM3BAT avec microphone U2 qui est le plus performant, avec les valeurs les plus fortes obtenues sur la Noctule de Leisler (Nyclei), la Pipistrelle commune (Pippip), la Pipistrelle pygmée (Pippyg), le Molosse de Cestoni (Tadten) et le Minioptère de Schreibers (Minsch). Pour le groupe Pipistrelle de Kuhl / Nathusius (PipNK), et la détection unique du Vespère de Savi, toutes les trois se trouvant dans la gamme de fréquences de 30 à 40 kHz, l'avantage revient au Batlogger. Le Batmode n'est pas loin derrière les deux précédents, mais il n'a pas permis de détecter des évènements rares concernant trois espèces : le Molosse de Cestoni, le Minioptère de Schreibers et le Vespère de Savi (Fig. 22 et Fig. 23). Il apparaît également une détectabilité légèrement meilleure, mais non significative, pour le SM3BAT avec microphone U2 sur les espèces dites « hautes fréquences », à savoir le groupe Pipistrelle commune, Pipistrelle pygmée et Minioptère de Schreibers.

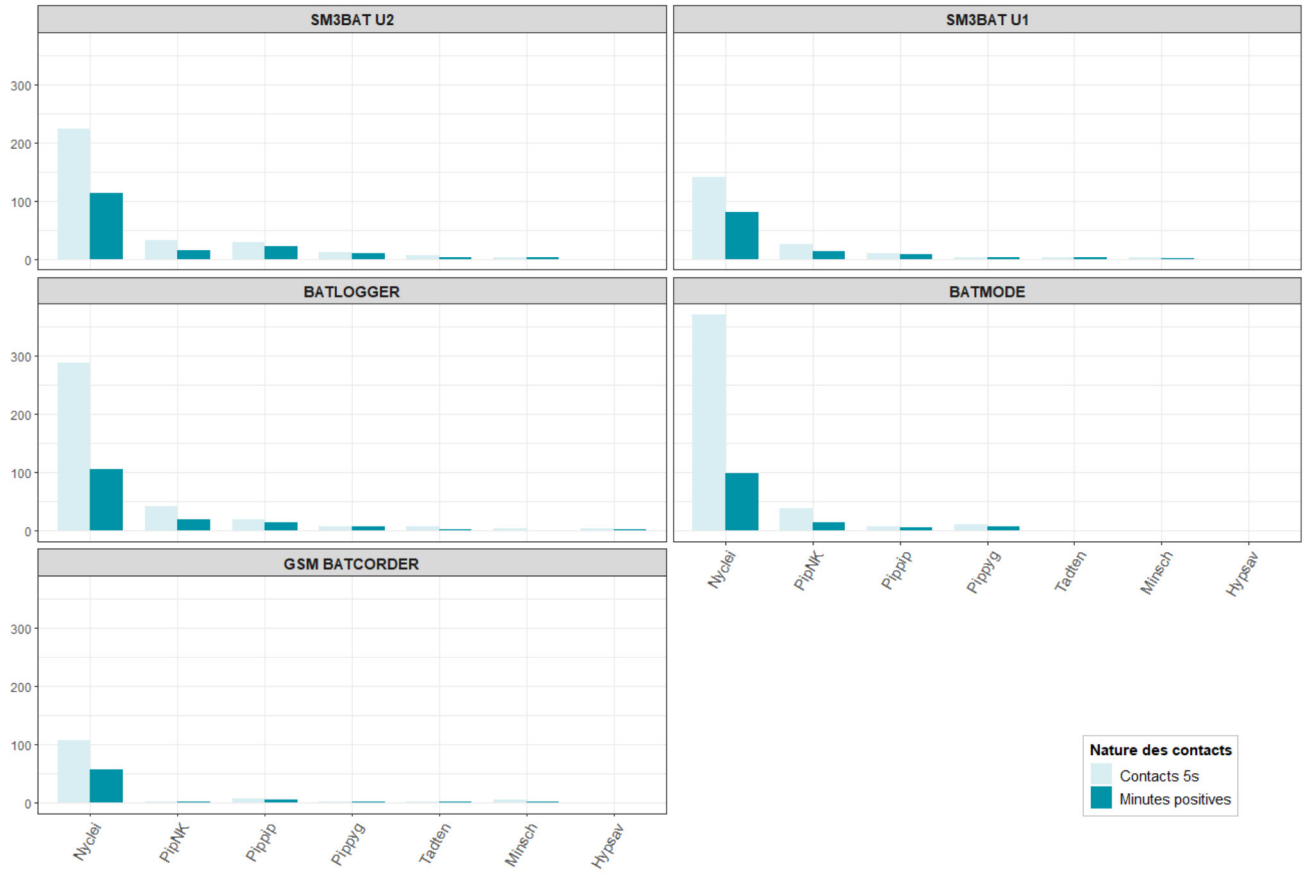


Fig. 22 : **Histogrammes du nombre de contacts et de minutes positives obtenus par espèce pour chacun des enregistreurs sur la période du 1er octobre au 18 novembre 2021.**
Nyclei = Noctule de Leisler, PipNK = Pipistrelle de Kuhl / Nathusius, Pippip = Pipistrelle commune, Pippyg = Pipistrelle pygmée, Tadten = Molosse de Cestoni, Minsch = Minioptère de Schreibers, Hypsav = Vespère de Savi

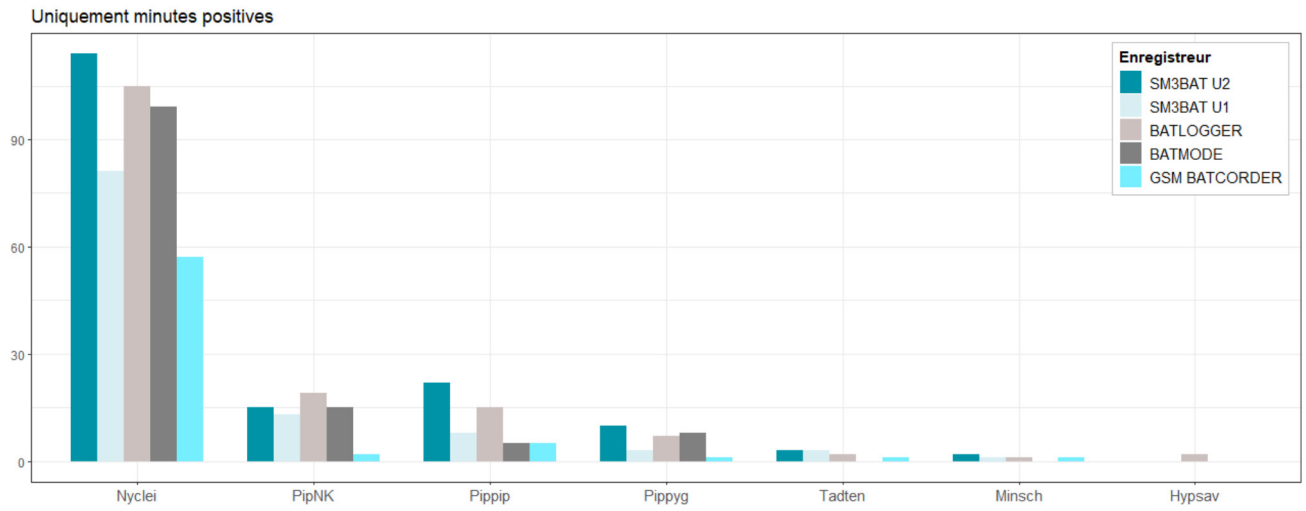


Fig. 23 : **Histogramme du nombre de minutes positives cumulées par espèce et par enregistreur sur la période.**

RÉSULTATS EN FONCTION DES PARAMÈTRES MÉTÉOROLOGIQUES

Conditions météorologiques enregistrées sur la période

Pour ce qui est de la distribution des vitesses de vent sur la période, on s'aperçoit que le site d'étude est assez venté avec des modalités élevées de fréquence de vent s'étalant entre 7 et 11 m/s.

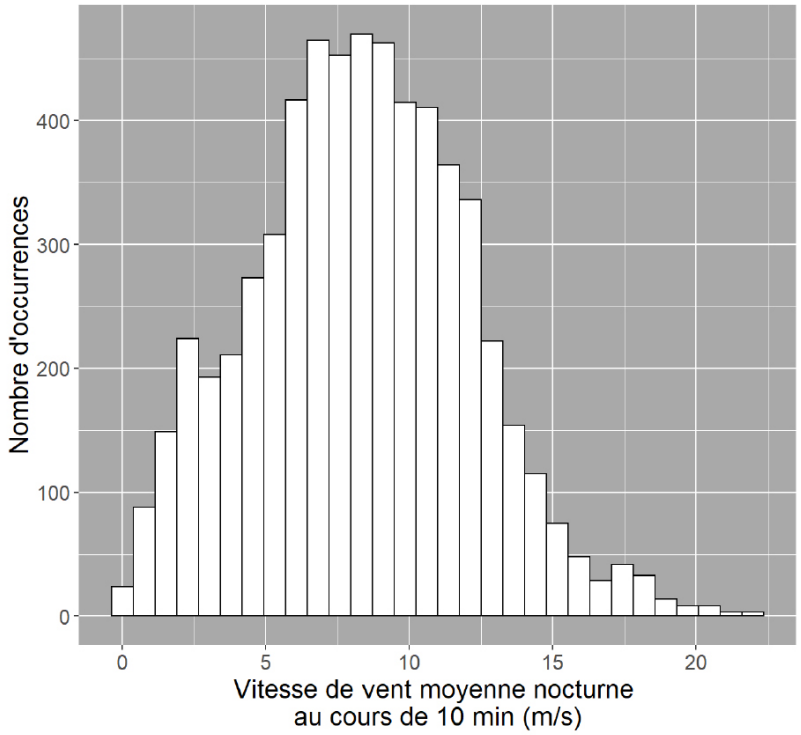


Fig. 24 : **Répartition des vitesses de vent enregistrées sur la période du 15 septembre au 20 novembre 2021, en nombre d'occurrences par classe de vitesses de vent.**

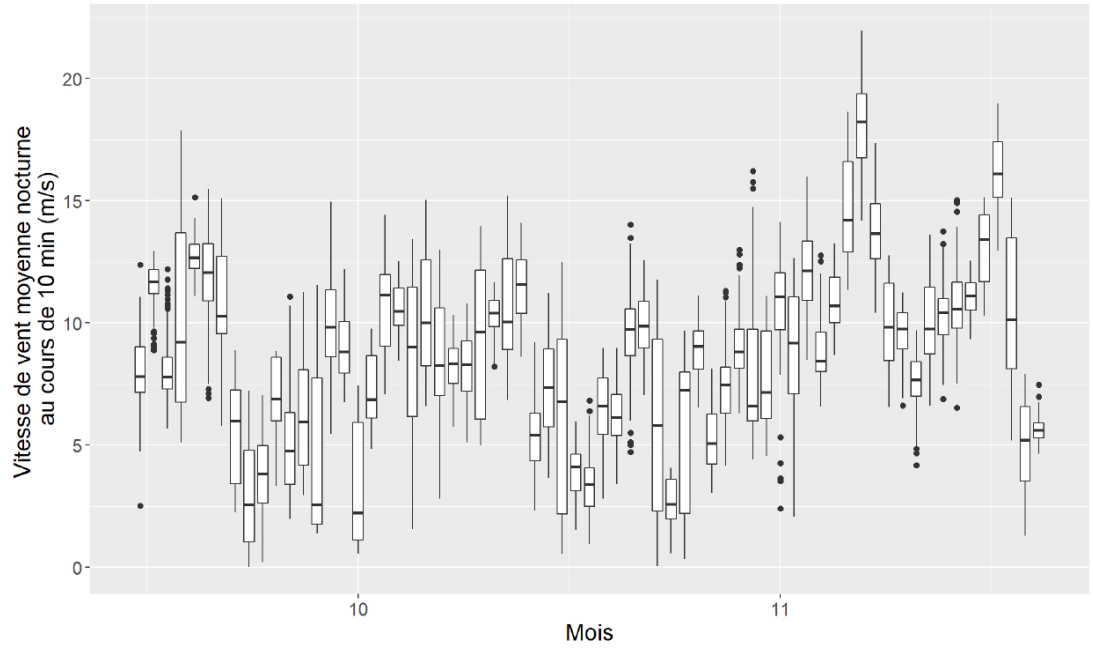


Fig. 25 : **Distribution des vitesses de vent moyennes par nuit enregistrée sur la période du 15 septembre au 20 novembre 2021, représentée en boîte à moustaches.**

Pour ce qui est de la distribution des températures sur la période, la plupart du temps elles sont favorables à l'activité des chiroptères, considérant que le seuil se situe à 10°C environ. Le passage sous ce seuil a eu lieu début novembre.

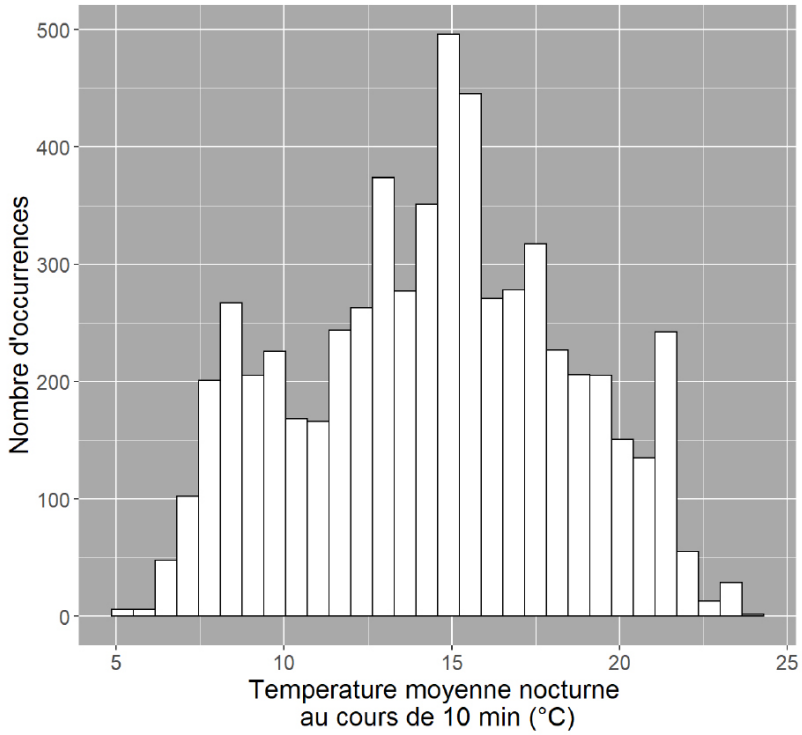


Fig. 26 : **Répartition des températures enregistrées sur la période du 15 septembre au 20 novembre 2021, en nombre d'occurrences par classe de température.**

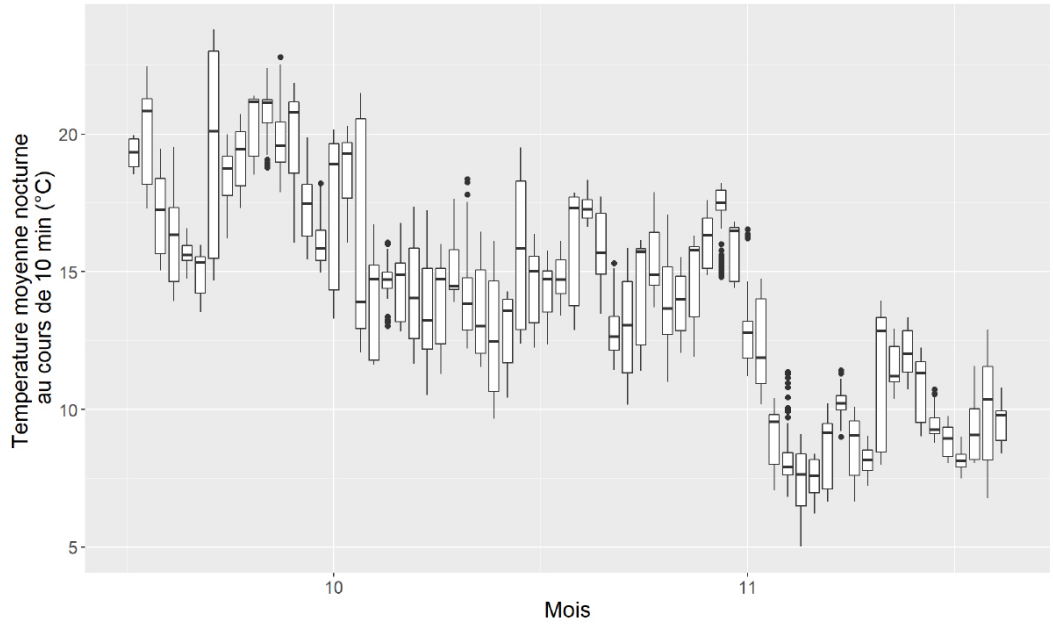


Fig. 27 : **Distribution des températures moyennes par nuit enregistrées sur la période du 15 septembre au 20 novembre 2021, représentée en boîte à moustaches.**

Phénologie de l'activité des chiroptères sur la période

L'activité au cours de la période est ici étudiée à partir du dispositif de référence, le SM3BAT sur lequel étaient montés deux microphones U2, l'un à 10 mètres de haut, l'autre à 52 mètres.

L'activité a été assez irrégulière. Les périodes les plus actives se situent sur la fin septembre et sur la seconde moitié du mois d'octobre. En septembre, l'activité, bien que plus intense en début de nuit, s'étale tout de même quasiment toute la nuit, alors qu'en octobre, elle est plus importante sur la première moitié de nuit. En novembre, avec les premières nuits froides et très ventées, l'activité est devenue très faible à nulle.

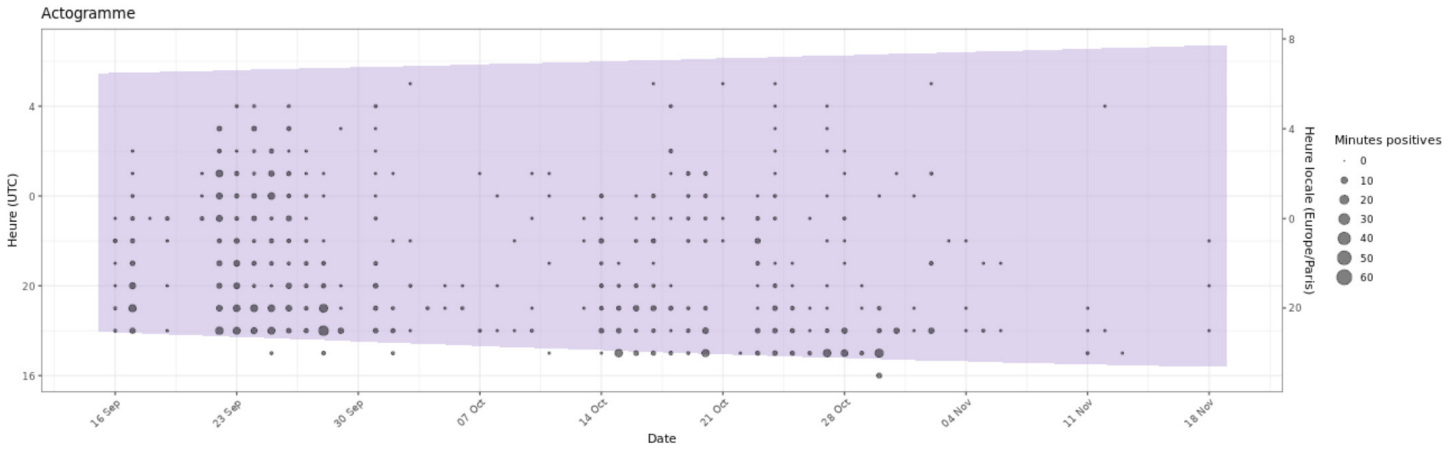


Fig. 28 : **Distribution de l'activité (toutes espèces confondues), exprimée en minutes positives par heure et par nuit du 15 septembre au 20 novembre 2021.**

Le graphique de la Fig. 29 montre également, comme on pouvait s'y attendre, que l'activité est en grande majorité obtenue sur le microphone du bas (environ 66%) par rapport au microphone disposé à 52 mètres à côté des autres microphones des enregistreurs étudiés.

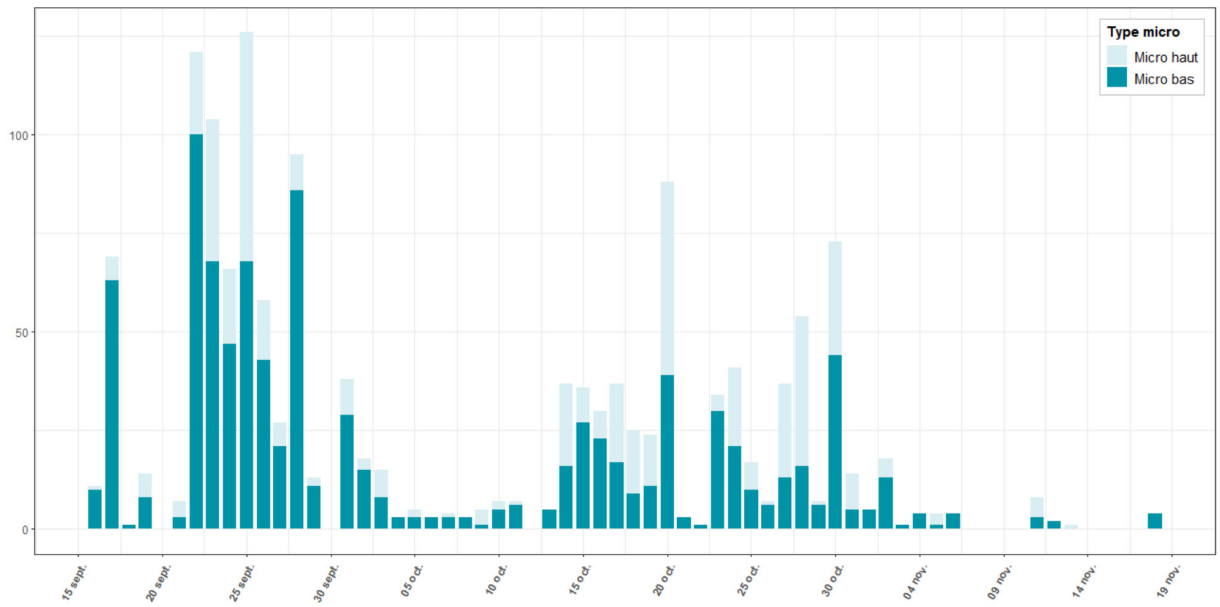


Fig. 29 : **Distribution de l'activité (toutes espèces confondues), exprimée en contacts cumulés par microphone et par nuit du 15 septembre au 20 novembre 2021.**

Corrélation avec les conditions météorologiques

Sur l'ensemble du jeu de données obtenues sur les deux microphones du dispositif SM3BAT avec microphones U2, on obtient la courbe de la Fig. 30 qui donne la proportion cumulée de l'activité de 0 à 1 (100%) en fonction des vitesses moyennes de vent enregistrées par tranches de 10 minutes sur le mât à 60 mètres de haut. On s'aperçoit que les chiroptères sur ce site semblent plus tolérants en septembre-octobre à des vitesses de vent relativement élevées que sur la plupart des autres sites que nous avons pu étudier dans la région Occitanie. Il faut aller jusqu'à 9 m/s en effet pour atteindre 90% de l'activité enregistrée (0.9), alors qu'habituellement cette valeur est atteinte à partir de 6-7 m/s.

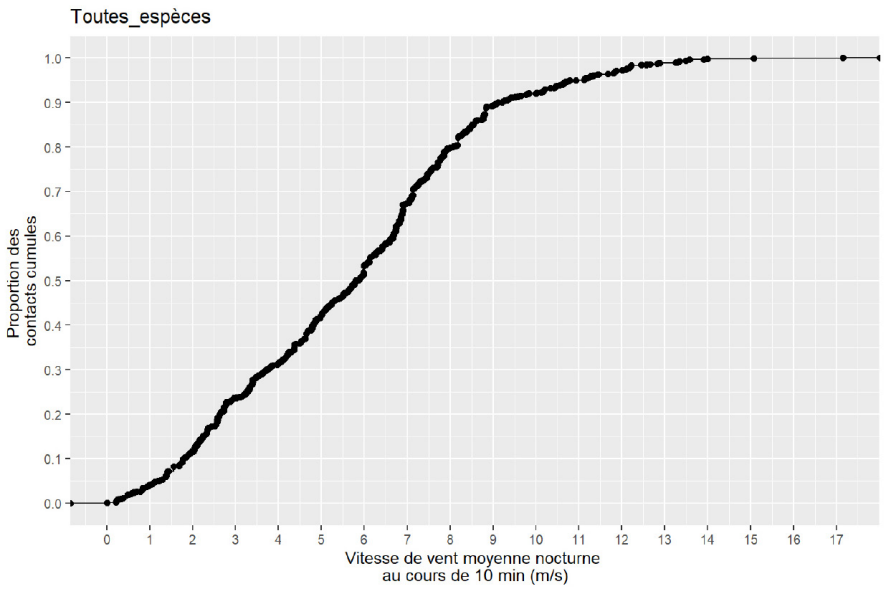


Fig. 30 : **Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus toutes espèces confondues en fonction de la vitesse de vent.**

Bien que le nombre de données soit beaucoup moins conséquent, si l'on regarde uniquement les contacts obtenus à une hauteur supérieure à la médiane, ou uniquement les contacts enregistrés par le microphone du haut, les résultats sont similaires, alors que souvent en altitude la vitesse du vent devient plus limitante et réduit significativement l'activité à des vitesses inférieures à celles données à proximité du sol (Fig. 31).

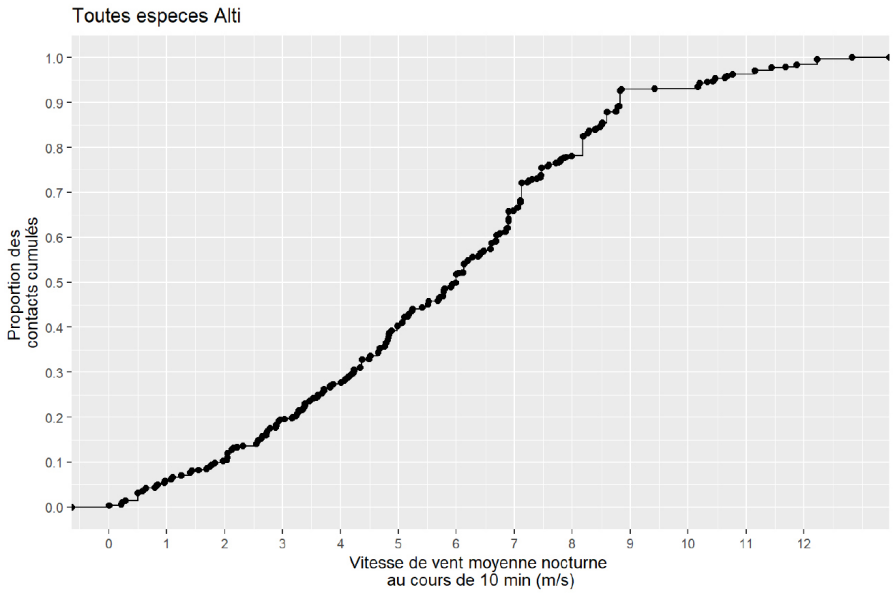


Fig. 31 : **Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus uniquement sur le microphone du haut, toutes espèces confondues, en fonction de la vitesse de vent.**

Si l'on prend en compte la quantité de vent disponible pour les différentes vitesses de vent enregistrées à 60 mètres par tranche de 0.5 m/s, et que l'on établit un indice d'affinité correspondant au ratio entre activités enregistrées et quantité de vitesse de vent offerte, on s'aperçoit plus clairement que les chiroptères sur ce site ont très nettement sélectionné des vitesses de vent inférieures à 7 m/s, mais que l'affinité reste positive jusqu'à 9 m/s (Fig. 32).

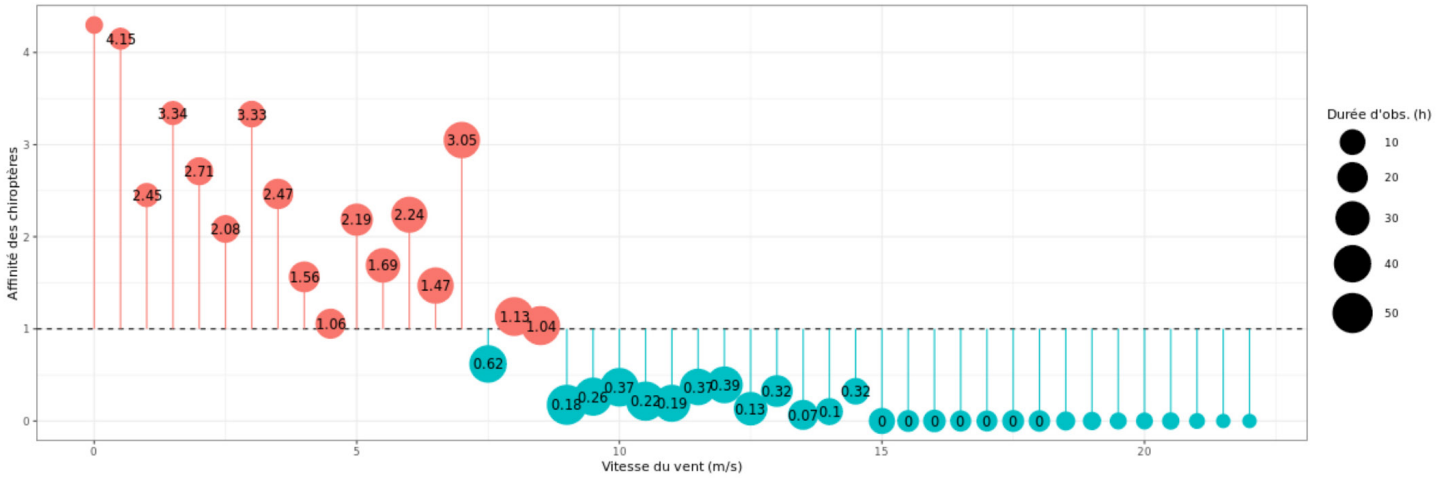


Fig. 32 : **Affinité des chiroptères, toutes espèces confondues, en fonction des vitesses de vent, calculée à partir de l'ensemble des contacts obtenus. Les affinités positives correspondent aux valeurs supérieures à 1, les affinités négatives aux valeurs inférieures à 1. L'importance des points correspond à la durée d'observation pour chacune des classes de vent.**

Le détail par espèce montre que ce sont les pipistrelles qui, comme sur tous les sites étudiés, sont les plus sensibles aux vitesses de vent supérieures à 8 m/s. En revanche, la Noctule de Leisler est assez peu affectée jusqu'à 9-10 m/s et le Molosse de Cestoni est l'espèce qui est apparue comme la plus tolérante, pouvant évoluer à plus de 10 m/s et même jusque 15 m/s. La quantité de données sur le Molosse est cependant trop faible pour être significative, mais cela correspond bien à la morphologie de cette grosse espèce et son aptitude de vol rapide en plein ciel (Fig. 33).

Fait plus surprenant de prime abord est aussi la tolérance du Minioptère qui habituellement est contraint par le vent lorsqu'il chasse. Néanmoins, le site étudié se trouve à quelques kilomètres d'une grotte abritant une colonie de mises bas dont les individus peuvent être actifs jusqu'en octobre/novembre. Il est donc probable que des trajets réguliers, relativement indépendants du vent, s'opèrent avec des passages par le site.

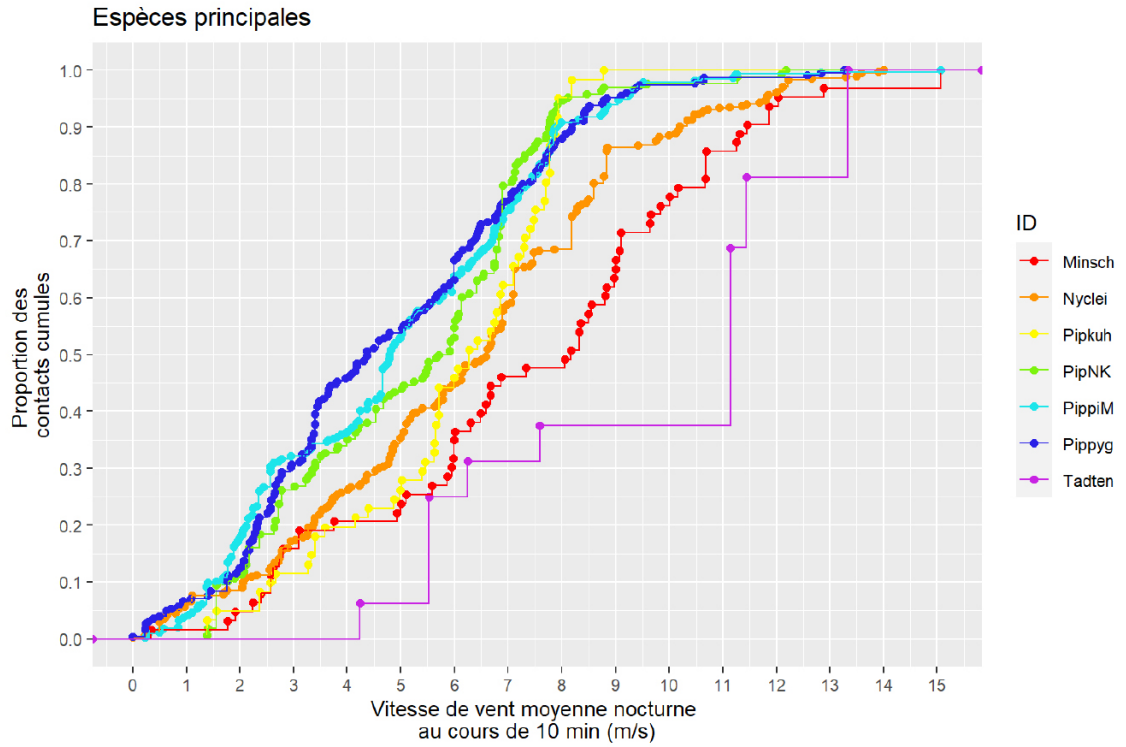


Fig. 33 : **Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus pour les principales espèces en fonction de la vitesse de vent.**

Minsch = Minioptère de Schreibers, Nyclei = Noctule de Leisler, Pipkuh = Pipistrelle de Kuhl, PipNK = groupe Pipistrelle de Kuhl / Nathusius, PippiM = Pipistrelle commune, Pippyg = Pipistrelle pygmée, Tadten = Molosse de Cestoni

Pour ce qui est des températures, à cette saison nous n'avons pas eu de surprises. L'activité démarre à partir de 10°C et devient nette à partir de 13°C, pour être optimale au-delà de 15°C (Fig. 34).

De façon corrélée à ce qu'on a observé pour le vent, les espèces les plus tolérantes aux basses températures sont celles qui l'ont été aux vitesses de vent soutenues ; la moins « frileuse » étant comme sur la plupart des sites où elle est présente, le Molosse de Cestoni qui peut même chasser en plein hiver (Fig. 35).

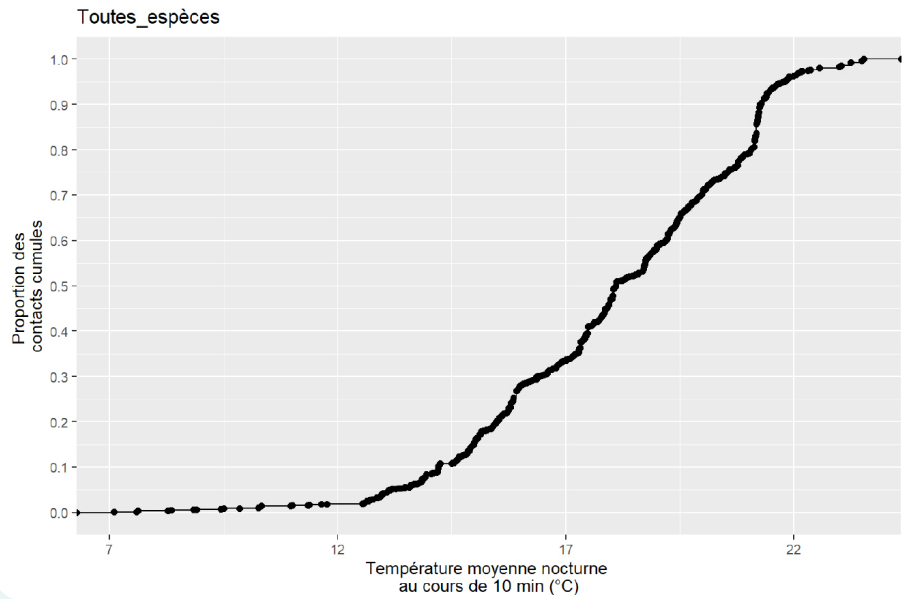


Fig. 34 : **Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus toutes espèces confondues en fonction de la température.**

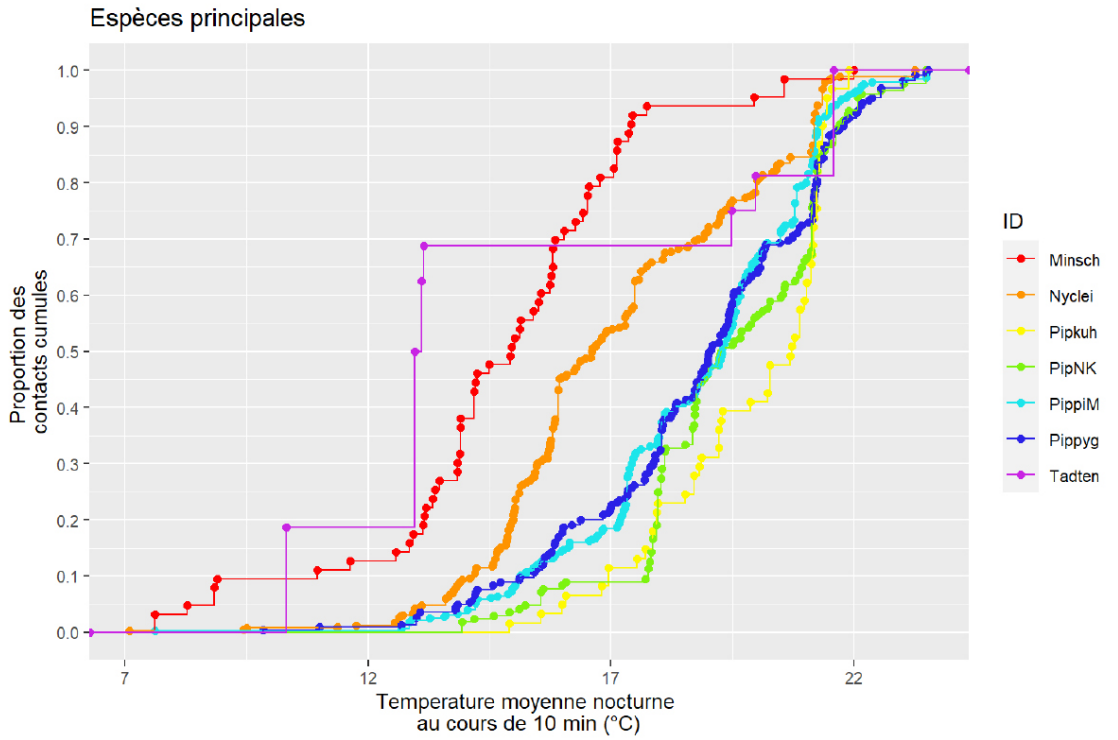


Fig. 35 : **Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus pour les principales espèces en fonction de la température.**

Minsch = Minioptère de Schreibers, Nyclei = Noctule de Leisler, Pipkuh = Pipistrelle de Kuhl, PipNK = groupe Pipistrelle de Kuhl / Nathusius, PippiM = Pipistrelle commune, Pippyg = Pipistrelle pygmée, Tadten = Molosse de Cestoni

En croisant ces deux facteurs, la Fig. 36 montre que l'activité se concentre surtout par des vitesses de vent inférieures à 8 m/s et par température supérieure à 12°C. Le ratio de sélection montre aussi que les chiroptères sont moins « sensibles » à des vitesses de vent élevées lorsque la température est clémente, voire chaude, c'est-à-dire supérieure à 15°C, sans que cela soit toutefois très net.

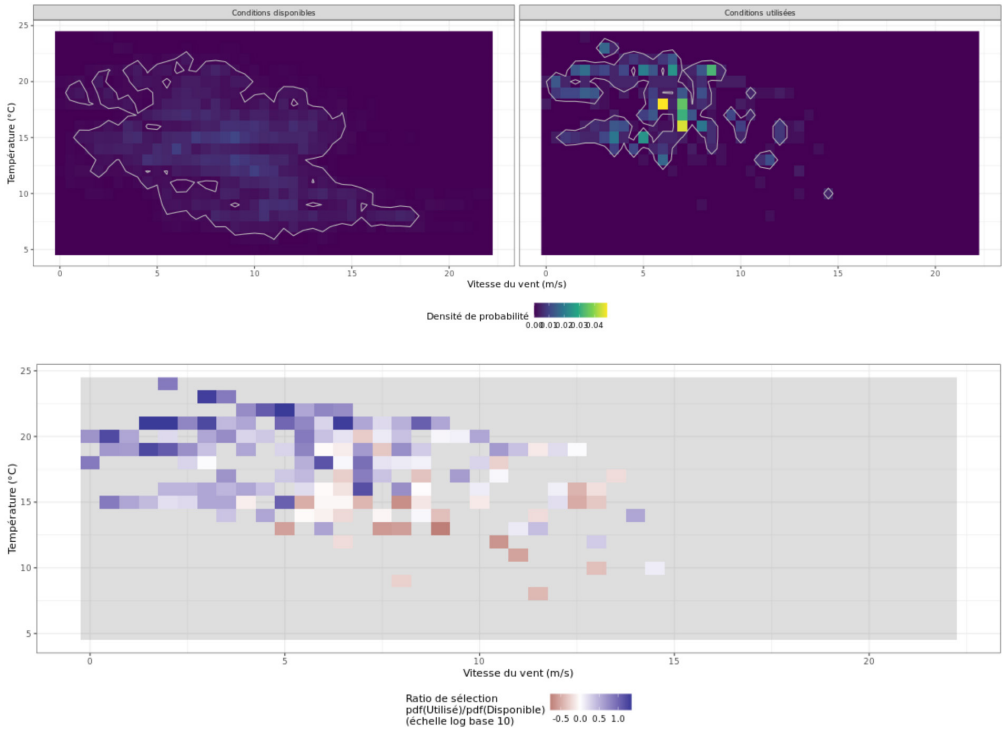


Fig. 36 : **Conditions de vent et de température sélectionnées pour l'ensemble des espèces, exprimées en haut en densité de probabilité et en bas en ratio de sélection, pour une enveloppe de 90% de l'activité enregistré (limite blanche).**

Comparaison de la modélisation avec les données des autres enregistreurs.

Avec le Batmode, on aurait obtenu une modélisation moins performante, du fait de la quantité moindre de données à 50 mètres et de l'absence de détection sur le Molosse de Cestoni et le Minioptère. La courbe obtenue est plus linéaire, avec un palier moins net à 8 ou 8.5 m/s pour ce qui est de la vitesse de vent. Elle reflète surtout celle de la Noctule de Leisler dont on a vu que jusqu'à ces valeurs elle était assez peu influencée par le vent (Fig. 37).

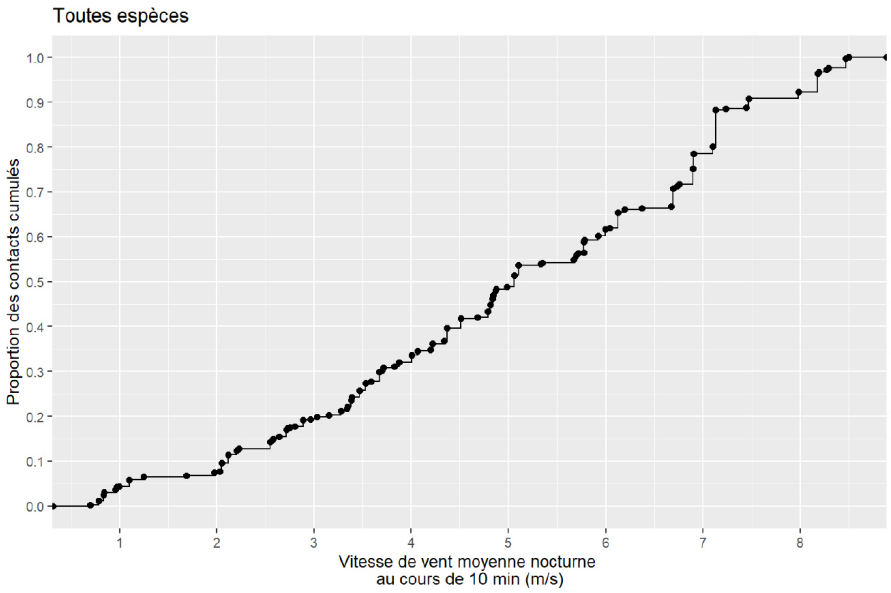


Fig. 37 :
Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus sur le Batmode, toutes espèces confondues, en fonction de la vitesse de vent.

Pour ce qui est de la température, la courbe est assez peu informative, avec un début d'activité à partir de 13°C. Une erreur d'appréciation aurait donc été faite sur l'activité rare qui a eu lieu pour certaines espèces à basse température en novembre.

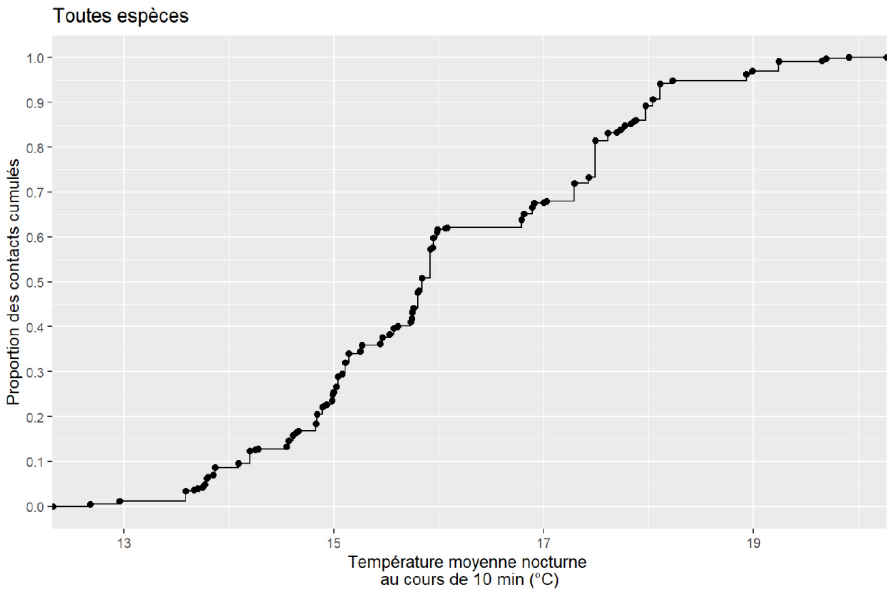


Fig. 38 :
Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus sur le Batmode, toutes espèces confondues, en fonction de la température.

Avec le Batlogger, la quantité moindre de données à 50 mètres limite la performance de la modélisation obtenue par rapport à l'ensemble des données cumulant les deux microphones du SM3BAT. Mais la projection vers des valeurs de vitesse de vent plus importante que 8.5 m/s est meilleure. On aurait eu la même qualité d'appréciation qu'avec le seul microphone du haut du SM3BAT, avec un seuil à 8.5 m/s comprenant 90% de l'activité enregistrée (Fig. 39).

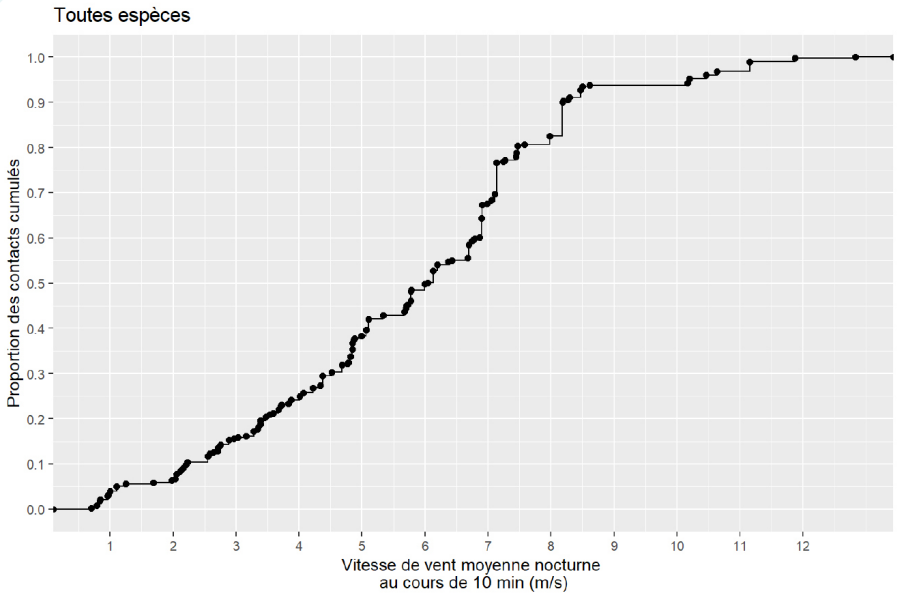


Fig. 39 :
Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus sur le Batlogger WE-X, toutes espèces confondues, en fonction de la vitesse de vent.

Pour ce qui est de la température, la courbe est assez peu informative, avec un début d'activité à partir de 13°C. Une erreur d'appréciation aurait donc été faite sur l'activité rare qui a eu lieu pour certaines espèces à basse température en novembre, même si deux points indiquent une activité possible pour certaines espèces à moins de 10°C (Fig. 40).

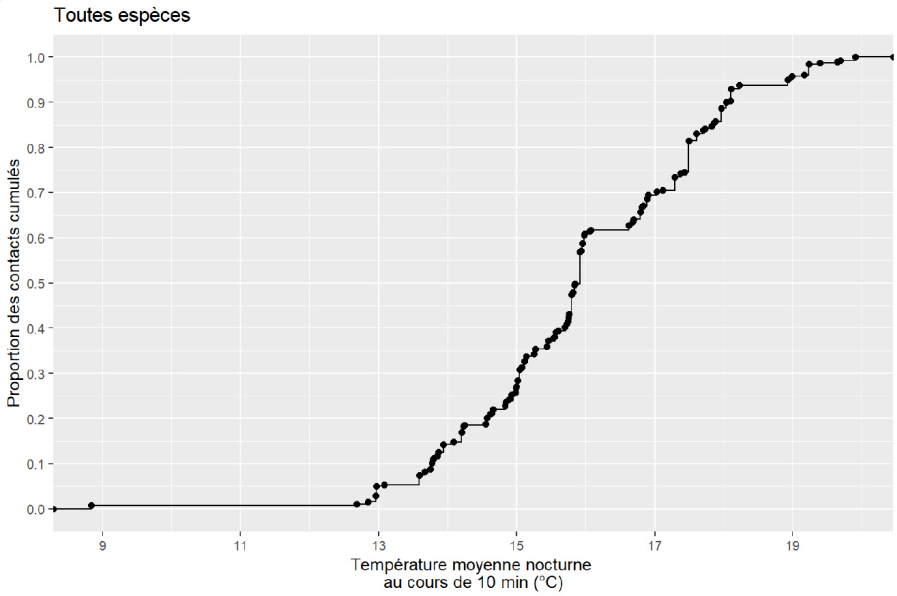


Fig. 40 :
Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus sur le Batlogger WE-X, toutes espèces confondues, en fonction de la température.

Avec le GSM-Batcorder, la quantité de données à 50 mètres est bien moindre qu'avec les autres détecteurs, ce qui limite plus fortement la performance de la modélisation obtenue. La projection vers des valeurs de vitesse de vent plus importante que 8.5 m/s est intégrée, mais sur trop peu de valeurs qui peuvent être considérées comme extrêmes et non significatives car au-delà des 95% de l'activité. La prise en compte de l'activité sur un niveau à 90% de l'activité totale enregistrée aurait engendré un défaut d'appréciation, mettant un seuil à 7.5 m/s, soit 1 m/s d'écart avec le SM3BAT-U2 et le Batlogger (Fig. 41).

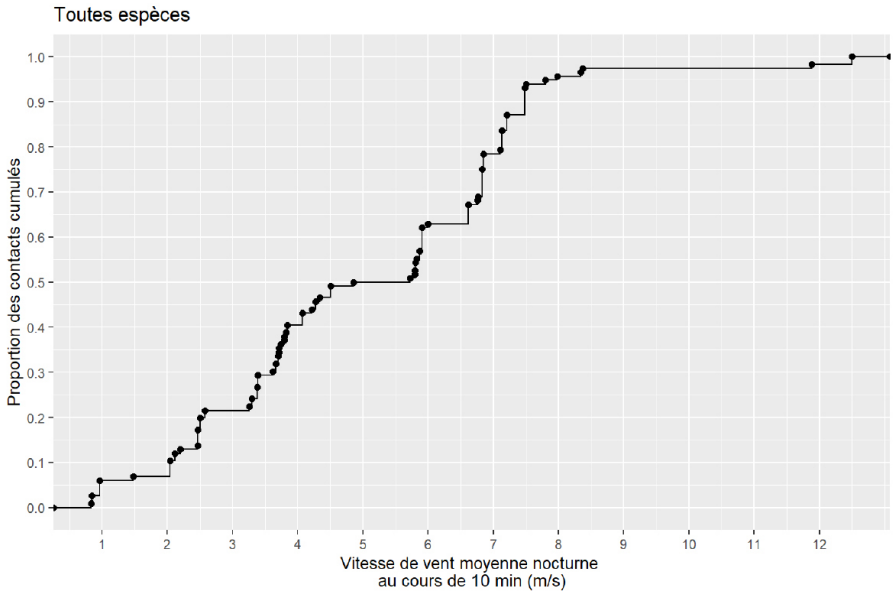


Fig. 41 : **Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus sur le GSM-Batcorder, toutes espèces confondues, en fonction de la vitesse de vent.**

Pour ce qui est de la température, la courbe est assez peu informative comme avec les autres enregistreurs, avec un début d'activité à partir de 13°C. Une erreur d'appréciation aurait donc été faite sur l'activité rare qui a eu lieu pour certaines espèces à basse température en novembre (Fig. 42).

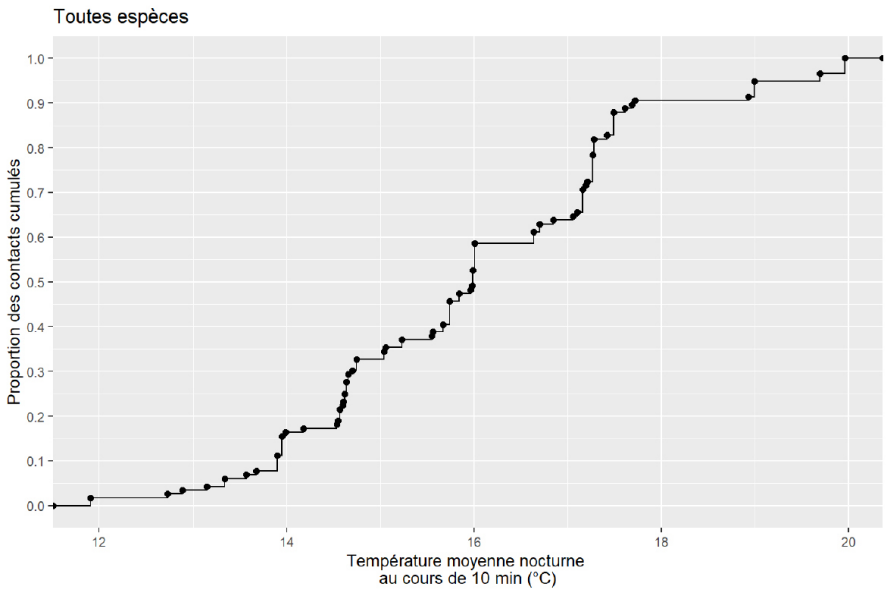


Fig. 42 : **Proportion de l'activité exprimée en nombre cumulé de contacts obtenus sur le GSM-Batcorder, toutes espèces confondues, en fonction de la température.**

DISCUSSION

En premier lieu, les résultats, comme pour ceux d'Adams *et al*. (2012), montrent clairement des disparités de fonctionnement d'un système d'appareil à l'autre. Bien que les microphones soient globalement équivalents et proches en caractéristiques, on obtient des écarts importants en nombre et en taille ou durée de fichiers délivrés.

Plusieurs explications peuvent être évoquées. En première approche, on peut mettre en avant des biais qui sont liés aux contraintes techniques du dispositif adopté. Les microphones ont en effet été séparés les uns des autres de quelques centimètres et ne se trouvent pas tous dans les mêmes conditions environnementales. Certains micros sont intégrés dans une protection plastique ou un disque avec une mousse circulaire impliquant nécessairement une modification du volume de perception. On a ainsi pu constater que la protection du microphone, comme celle qui a été réalisée pour protéger le microphone SMM-U1 monté sur un SM3BAT, a engendré une perte de détection avec 42% de fichiers en moins par rapport au même appareil monté avec un micro SMM-U2 non protégé. Cette différence ne peut être uniquement due à la technologie des deux modèles de micro qui sont des capsules FG similaires.

Par ailleurs, l'amplification et le traitement numérique peuvent être à l'origine des différences de restitution sur l'intensité et l'hétérogénéité du bruit de fond.

Certaines spécificités propres à certains appareils ont également eu des effets sur la capacité à détecter des chiroptères. Ainsi, le système de calibration du Batmode qui atténue fortement l'intensité des signaux lorsque le bruit de fond est important, par exemple lors des épisodes très ventés, induit de fait une baisse de la sensibilité de détection sur des cris faibles ou dont le rapport signal / bruit n'est pas suffisant. Cela pourrait expliquer que début octobre et début novembre, le Batmode n'a plus produit de fichier alors que dans le même laps de temps le SM3BAT ou le Batlogger en ont fourni, malgré une activité faible dans ces conditions. Certains évènements rares, comme le passage de Molosse de Cestoni ou de Minioptère de Schreibers, n'ont également pas été détectés par le Batmode.

Mais en dépit de ces différents biais possibles, la raison principale qui génère les plus fortes disparités observées en nombre de fichiers délivrés est probablement liée aux différents choix de conception des triggers et de leurs réglages. Cela joue directement sur la décision de déclencher un enregistrement, sur la durée de celui-ci et sur le temps de latence entre deux enregistrements successifs en cas d'activité intense ou continue.

Le GSM-Batcorder est l'appareil qui s'est révélé le moins performant, comme l'avait déjà souligné Adams *et al*. (2012) qui ont constaté une perte de détectabilité avec la distance, n'étant même plus vraiment sensible sur des basses fréquences au-delà de 20 mètres.

Les algorithmes de détection de signaux de chiroptères inclus derrière le réglage de « quality » du GSM-Batcorder, malgré le passage du réglage par défaut de « 20 » à « 30 », pourraient expliquer le faible taux de déclenchement et d'enchaînement de fichiers qui, par ailleurs, sont de durée très courte. Le filtre passe-haut à 14 kHz s'avère également limitant dans la capacité du GSM-Batcorder à détecter des signaux de Molosse de Cestoni. Ce problème pourrait aussi concerner la Grande Noctule dont les signaux QFC à faible largeur de bande peuvent être inférieurs à 14 kHz (Haquart et Disca, 2007 ; Barataud, 2020).

Dans l'ensemble, le SM3BAT monté avec un microphone SMM-U2 est l'appareil qui a donné le plus de satisfaction en nombre de fichiers positifs (contenant des signaux de chiroptères). Le Batlogger WE-X n'est pas loin derrière, avec un résultat proche en nombre de contacts de chiroptères, mais pour un volume de fichiers délivrés, et donc un poids informatique, bien moindre (700 Mo contre 1100 Mo). La différence provient de la qualité des algorithmes du Trigger du Batlogger qui permettent d'éviter de déclencher sur des bruits « parasites » et de cibler assez efficacement les signaux de chiroptères. Cela évite de générer un trop grand nombre de fichiers « parasites » ou « négatifs » comme le fait le SM3BAT. Ainsi, bien que le nombre de contacts soit légèrement moindre avec le Batlogger WE-X que le SM3BAT-U2, le faible taux de faux positifs obtenus avec le Batlogger WE-X lui donne un avantage certain. Le résultat n'est pas très différent, mais le temps d'analyse des fichiers, leur envoi par internet et leur sauvegarde est grandement facilité.

Le Batmode a donné de bons résultats en matière de qualité des fichiers délivrés, de « Triggage », et de volume final obtenu. Mais la perte de détection par fort vent impliquant aussi la perte de certaines espèces rares à enjeu patrimonial a pénalisé l'appareil.

Outre la fiabilité du module de supervision, si l'on associe l'ensemble des critères d'évaluation pour les appareils testés, principalement :

- le volume de fichiers obtenus et surtout le ratio vrais positifs / [faux positifs + vrais négatifs],
- le nombre de contacts délivrés et d'espèces détectées,
- la qualité des enregistrements.

Il ressortirait le classement suivant :

1. BATLOGGER WE-X
2. SM3BAT + U2
3. BATMODE
4. SM3BAT + U1 (avec protection dans un tube PVC)
5. GSM-BATCORDER

En second lieu, les disparités de fonctionnement observées s'avèrent problématiques dans le cadre des études scientifiques et des études d'impact qui s'appuient sur une mesure de l'activité en considérant comme mode de dénombrement des contacts le nombre de fichiers produits. Il n'est en effet pas raisonnable de comparer ou d'interpréter des résultats obtenus avec des machines différentes si tant est que les réglages adoptés soient considérés comme peu ou prou équivalents.

Dans le cadre d'études ayant pour objectif de définir des paramètres de bridage d'éoliennes, afin de réduire significativement la mortalité des chiroptères, notre étude a montré que le choix du matériel pouvait entraîner des conséquences importantes. Ces études sont en effet basées sur une mesure de l'activité, autrement dit un nombre de fichiers positifs par nuit, sur de longues périodes, afin d'établir des corrélations ou un modèle en fonction de variables ou contraintes environnementales comme les paramètres de vent et de température. Il s'agit ensuite de tenir compte du modèle pour établir différents scénarios de risque, en termes de probabilité d'avoir de l'activité de chauves-souris, et définir des seuils de vent et de température déclenchant un arrêt des éoliennes. Le nombre et la durée des arrêts engendrent des pertes de production d'électricité qui lors de notre étude auraient pu varier d'environ ±75% selon l'appareil utilisé. Le calcul a été réalisé sur la base d'une courbe de puissance fictive de 2.2MW et une distribution du vent de type Rayleigh wave = 7 m/s.

Voigt *et al*. (2021) émettent également des réserves liées aux problèmes de détectabilité (atténuation rapide des ultrasons, zones d'ombre sous une nacelle d'éolienne, directionnalité des cris, paramètres de déclenchement, portée de détection, identification…) et mettent en doute la pertinence des suivis sous nacelle à l'aide d'enregistreurs automatiques pour définir un plan de bridage. Le volume de détection au niveau d'une nacelle d'éolienne est en effet déjà très réduit et d'autant plus que les gammes de fréquences utilisées sont élevées. D'autres facteurs tels que l'environnement immédiat des micros, leur niveau d'usure, ou encore la calibration d'usine qui n'est pas garantie, peuvent aussi être source de biais. Pour étudier les risques de façon optimale, il vaut donc mieux utiliser un matériel sensible au déclenchement, des micros qui ont un bon rapport signal-bruit conformément à Darras *et al*. (2020) et résistent bien aux intempéries, et produisant des fichiers suffisamment longs pour faciliter les déterminations. C'est le cas par exemple du couple SM3BAT et micro SMM-U2 de wildlife acoustics ou du Batlogger WE-X d'Elekon.

Pour limiter les biais et disparités, l'utilisation d'une mesure de l'activité lissée en « minutes positives » et non en contacts de 5 secondes, est une solution proposée par Miller (2001), puis par Haquart (2013) qui mérite d'être poursuivie. Les résultats montrés lors de cette étude confirment que ce lissage permet de limiter les effets des variations de détectabilité acoustique dues à l'utilisation de matériels et de paramétrages hétérogènes. D'un autre côté, reproduire le protocole mis en place par Adams *et al*. (2012) pour essayer d'adopter des paramètres de réglage équivalents entre les appareils s'avère aussi très compliqué et ne garantit pas des résultats comparables. En effet, bien que nous ayons adopté des réglages censés être similaires, les résultats se sont révélés trop hétérogènes.

Barré et Kerbiriou (2021) face aux problèmes liés à l'hétérogénéité des enregistreurs proposent néanmoins d'homogénéiser le matériel et le paramétrage du déclencheur dans les études de suivi, afin de réduire les variations enregistrées et permettre de détecter les effets d'autres variables sur l'activité. Pour éviter les biais matériels, ces auteurs se sont concentrés sur les sites étudiés à l'aide du Batmode. C'est également la position de Behr *et al*. (2023) en réponse aux réserves émises par Voigt *et al*. op. cit. Les auteurs argumentent et confirment que les données acoustiques enregistrées au niveau de la

nacelle des éoliennes sont bien appropriées pour évaluer les risques à condition qu'un protocole référencé et standardisé d'acquisition et d'analyse des données soit utilisé.

Or, nos résultats montrent clairement des problèmes de détection pour certains matériels, notamment pour le Batcorder ou le BatmodeS alors qu'ils sont fréquemment utilisés dans les protocoles standardisés, par exemple en Allemagne dans le programme RENABAT.

Ainsi, bien que tous les sites puissent être équipés avec un même type d'appareil et des réglages équivalents, le choix d'un enregistreur ayant de mauvaises performances peut constituer un sérieux défaut. Surtout si l'objectif est de modéliser l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse de vent pour estimer les risques de mortalité d'un parc éolien et proposer des paramètres de bridage. Car la pertinence des modélisations, en termes d'incertitude obtenue, dépend assez nettement de la quantité de données et donc de fichiers positifs enregistrés. Autrement dit, plus un appareil est en capacité de détecter et d'enregistrer d'évènements pour un même nombre de chiroptères passant dans le volume de détection, déjà réduit, meilleure en sera la modélisation et au final les prescriptions et les résultats attendus.

En définitive, il est donc important de bien connaître les spécificités et les performances des différents appareils utilisés pour mener des études sur les chiroptères. Dans la plupart des cas, que ce soit pour lister les espèces présentes et mesurer l'activité en nombre de contact (fichier) par unité de temps (heure ou nuit), il serait préférable d'opter pour un modèle d'appareil et micro avec un système de trigger sensible au déclenchement et permettant d'obtenir des durées de fichier suffisamment longues (plusieurs secondes). On optimise ainsi les résultats tant sur le plan qualitatif (capacité de détermination spécifique et nombre d'espèces) que quantitatif (nombre de données « positives » enregistrées et fiabilité des modélisations). Parmi les modèles testés pour des écoutes spécifiques sur mât de mesure ou nacelle d'éolienne, nous recommandons donc l'utilisation du Batlogger WE-X (Elekon) ou du SM3BAT (wildlife acoustics) avec micro SMM-U2 non protégé.

Et enfin nous pensons, vu l'émergence rapide de nouveaux produits, qu'il serait préférable pour limiter l'effet des disparités et d'hétérogénéité de matériel, d'avoir recours comme le préconisait Miller et Haquart à un lissage de l'unité de dénombrement des contacts en minutes positives, plutôt que de chercher à standardiser les produits et les réglages.



RÉFÉRENCES

Adams, A.M., Jantzen, M.K., Hamilton, R.M., Fenton, M.B., 2012. Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. Methods in Ecology and Evolution 3, 992–998.

Barataud, M., 2020. Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. 4e éd. Biotope éditions, Mèze. MNHN, Paris (coll. Inventaires & biodiversité). 360 p.

Barré, K., Kerbiriou, C., 2021. Activité de vol des chiroptères à hauteur des pales des éoliennes : quels déterminants de la variation spatio-temporelle de cette activité ? UMR7204 CESCO-MNHN. 37 p.

Behr, O., Barré, K., Bontadina, F., Brinkmann, R., Dietz, M., Disca, T., Froidevaux, J.S.P., Ghanem, S., Huemer, S., Hurst, J., Kaminsky, S.K., Kelm, V., Korner-Nievergelt, F., Lauper, M., Lintott, P., Newman, C., Peterson, T., Proksch, J., Roemer, C., Schorcht, W., Nagy, M., 2023. Standardised and referenced acoustic monitoring reliably estimates bat fatalities at wind turbines: comments on 'Limitations of acoustic monitoring at wind turbines to evaluate fatality risk of bats.' Mammal Review 53, 65–71.

Britzke, E.R., Gillam, E.H., Murray, K.L., 2013. Current state of understanding of ultrasonic detectors for the study of bat ecology. Acta theriologica 58, 109–117.

Darras, K.F.A., Deppe, F., Fabian, Y., Kartono, A.P., Angulo, A., Kolbrek, B., Mulyani, Y.A., Prawiradilaga, D.M., 2020. High microphone signal-to-noise ratio enhances acoustic sampling of wildlife. PeerJ 8, e9955.

Haquart, A., Disca, T., 2007. Caractéristiques acoustiques et nouvelles données de Grande Noctule *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780) en France. Le Vespère 1, 15–20.

Haquart, A., 2013. Actichiro : référentiel d'activité des chiroptères - Eléments pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française. Montpellier. Mémoire de diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes.

Miller, B.W., 2001. A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. Acta Chiropterologica 3, 93–105.

Parsons, S., Szewczak, J., 2009. Detecting, recording and analysing the vocalisations of bats. In Kunz, T & Parsons, S (Eds.) *Ecological and behavioral methods for the study of bats*, 2nd edition. Johns Hopkins University Press, United States of America, pp. 91-111.

Voigt, C.C., Russo, D., Runkel, V., Goerlitz, H.R., 2021. Limitations of acoustic monitoring at wind turbines to evaluate fatality risk of bats. Mammal Review 51, 559–570.

REMERCIEMENTS

Le présent travail est le fruit de toute une équipe.

Je souhaiterais tout d'abord remercier l'exploitant éolien qui a co-investi avec Biotope sur cette étude et qui nous a fait confiance. Un grand merci à l'équipe technique qui m'a accompagné sur la mise en œuvre des tests et plus particulièrement : Ludivine DOYEN, Philippe FERRAGNE, Vincent KOCH, Julien MEROT, Julien TRANCHARD.

Cet article n'aurait pas pu se faire sans l'appui de Anne-Lise et Frédéric MELKI qui ont choisi depuis 30 ans d'investir dans des études de recherche et développement pour faire progresser la connaissance sur la biodiversité et plus particulièrement sur les chauves-souris.

Merci également à Mathias PRAT et à Thomas MENUT qui ont relu, proposé des améliorations et accompagné le processus d'écriture de cet article, ainsi qu'au comité de relecture de la Fondation Biotope, et à l'équipe de Biotope Communication.

Thierry DISCA