



Ecofirst

Biodiversity & Forest Engineering

**Analyse de sons enregistrés dans le Parc
Naturel Régional des Ballons des Vosges à
la recherche de 3 espèces :
Glaucidium passerinum, *Polysarcus
denticauda* et *Vespertilio murinus***



Ecofirst sc - Société coopérative

Adresse postale : Grand-Rue, 12 - 6870 Awenne - BELGIQUE

BE 0692.806.959 - www.ecofirst.eu

Références administratives

Rapport final terminé le 4 mars 2024 par

Ecofirst SC

Société coopérative

BE 0692.806.959

www.ecofirst.eu

Adresse postale : Grand-Rue, 12 - 6870 Awenne - BELGIQUE

Contact général : Gérard Jadoul / gerard.jadoul@ecofirst.eu / +32 498 54 42 40

Opérateurs : Jean-François Godeau / jf.godeau@ecofirst.eu / +32 472 944 847

Pierrette Nyssen / pierrette.nyssen@ecofirst.eu / +32 473 265 264



Ecofirst

Biodiversity & Forest Engineering

À destination de

Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges

Bureau des espaces naturels

Adresse postale : 1 place des Verriers - 68820 Wildenstein - FRANCE

Contact général : +33 3 89 82 22 11 / info@parc-ballons-vosges.fr

www.parc-ballons-vosges.fr

Personne de contact pour ce dossier :

Arnaud Foltzer / a.foltzer@parc-ballons-vosges.fr / +33 6 84 81 02 44



Crédits photo :

- couverture : cc Ott Rebane (*Glauclidium passerinum*), Gilles San Martin (*Polysarcus denticauda*), Robbin D. Knapp (*Vespertilio murinus*)
- figure 1 : cc Frank Vassen
- figure 2 : cc Gilles San Martin
- figure 4 : cc Jan Svetlik

Table des matières

Cadre de l'étude	4
Caractéristiques des émissions sonores des trois espèces ciblées	4
Chevêchette d'Europe (<i>Glaucidium passerinum</i>)	4
Barbitiste ventru (<i>Polysarcus denticauda</i>)	5
Vespertilion bicolore (<i>Vespertilio murinus</i>)	6
Méthodes d'analyse proposées et résultats	8
❖ Chevêchette d'Europe (<i>Glaucidium passerinum</i>)	8
o Outil de tri automatique	8
o Avantages de la méthode	8
o Inconvénients de la méthode	8
o Solutions à envisager	8
o Résultats de la mise en œuvre sur les données mises à disposition	9
❖ Vespertilion bicolore (<i>Vespertilio murinus</i>)	10
o Outil de tri automatique	10
o Avantages de la méthode	10
o Inconvénients de la méthode	11
o Solutions à envisager	11
o Résultats de la mise en oeuvre sur les données mises à disposition	11
❖ Barbitiste ventru (<i>Polysarcus denticauda</i>)	12
o Outil de tri automatique	13
o Avantages de la méthode	14
o Inconvénients de la méthode	15
o Solutions à envisager	15
o Résultats de la mise en œuvre sur les données mises à disposition	16
Transects (2021)	16
Points fixes (2021)	17
Points fixes réalisés en 2023	17
❖ Aperçu des différents types d'enregistreurs utilisables	21

Cadre de l'étude

En marge de ses missions d'animation, de surveillance et de gestion des réserves naturelles dans le périmètre du Parc Naturel Régional des Ballons des Vosges, des recherches ciblées sont menées par l'équipe du Parc pour tenter de (re)découvrir des populations d'espèces à enjeux de conservation, tel que la Chevêchette d'Europe (*Glaucidium passerinum*), le Barbitiste ventru (*Polysarcus denticauda*) et le Vespertilion bicolore (*Vespertilio murinus*). La méthode choisie consiste à enregistrer des sons (audibles et ultrasonores) au moyen de détecteurs à haute fréquence d'échantillonnage. Des inventaires sont réalisés à l'occasion de séances d'écoute actives et, surtout, par le déploiement d'enregistreurs automatiques passifs (Audiomoth) dans des conditions ciblées maximisant la probabilité de contact avec les espèces recherchées.

Ces inventaires acoustiques produisent une grande quantité de fichiers son (format .wav) dont le traitement manuel s'avère fastidieux sans procédure informatique automatisée pour la recherche de ces espèces. Étant donné le caractère exploratoire et novateur de ces prospections, il n'existe pas de système 'clé-sur-porte' permettant l'analyse des nombreux fichiers générés pour ces espèces. Le développement récent de différents outils d'analyse dédiés aux chiroptères permet toutefois d'envisager facilement le développement d'une procédure de tri automatisée adaptée à la recherche des espèces visées par le PNR, y compris les oiseaux et les orthoptères.

Caractéristiques des émissions sonores des trois espèces ciblées

Chevêchette d'Europe (*Glaucidium passerinum*)

La Chevêchette d'Europe mâle chante à la cime des conifères. Le chant est crépusculaire et nocturne, composé de notes claires et flutées espacées de courts intervalles. Quand il est excité, le premier chant est suivi d'une rapide succession de 3 à 6-7 notes, comme des sifflements rapidement répétés, monosyllabiques, émis en une phrase d'une 10^{aine} de secondes. Ces émissions sonores sont situées dans le spectre des fréquences audibles pour l'oreille humaine (vers 1,5 kHz) et peuvent être détectées jusqu'à près d'un kilomètre. Le cri typique est un plateau de fréquence constante d'environ 200 ms, émis toutes les 2 s (intervalle d'environ 1.8 s). Une variante crescendo évolue de 1,5 kHz à un peu plus de 2 kHz. Divers sifflements (entre 6 et 8 kHz) plus ténus peuvent aussi être émis.

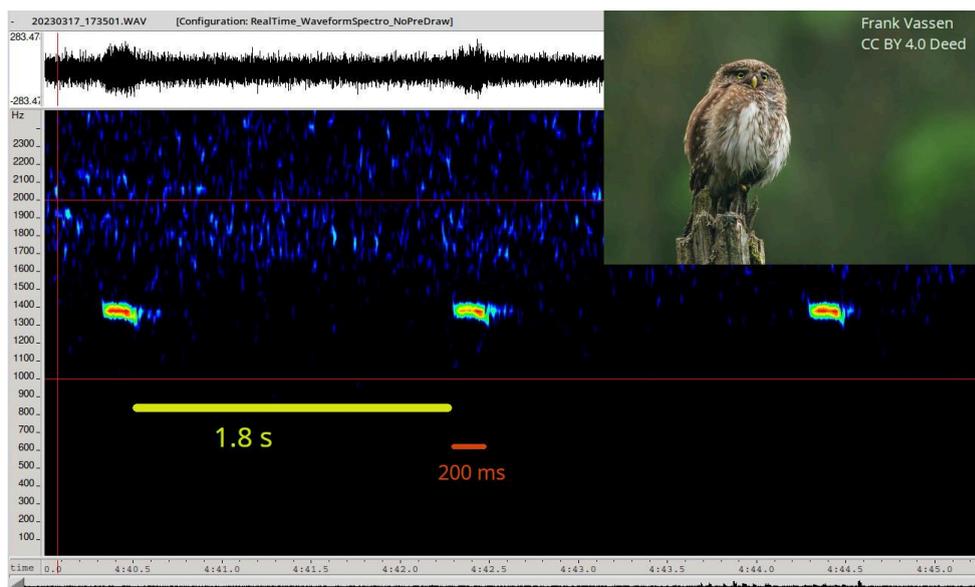


Figure 1 : Illustration des émissions sonores typiques de la Chevêchette d'Europe (oscillogramme au-dessus et spectrogramme en-dessous)

Barbitiste ventru (*Polysarcus denticauda*)

Seul le mâle chante, les femelles sont d'ailleurs aptères (et de ce fait dépourvues d'organes stridulateurs) chez cette espèce. Les stridulations sont diurnes, détectables à plusieurs dizaines de mètres (jusqu'à 30 à 50 m) et très caractéristiques, elles sont en partie émises dans le spectre de l'audible mais montent jusque dans le spectre ultrasonore (8-30 kHz avec un pic d'intensité vers 15 kHz).

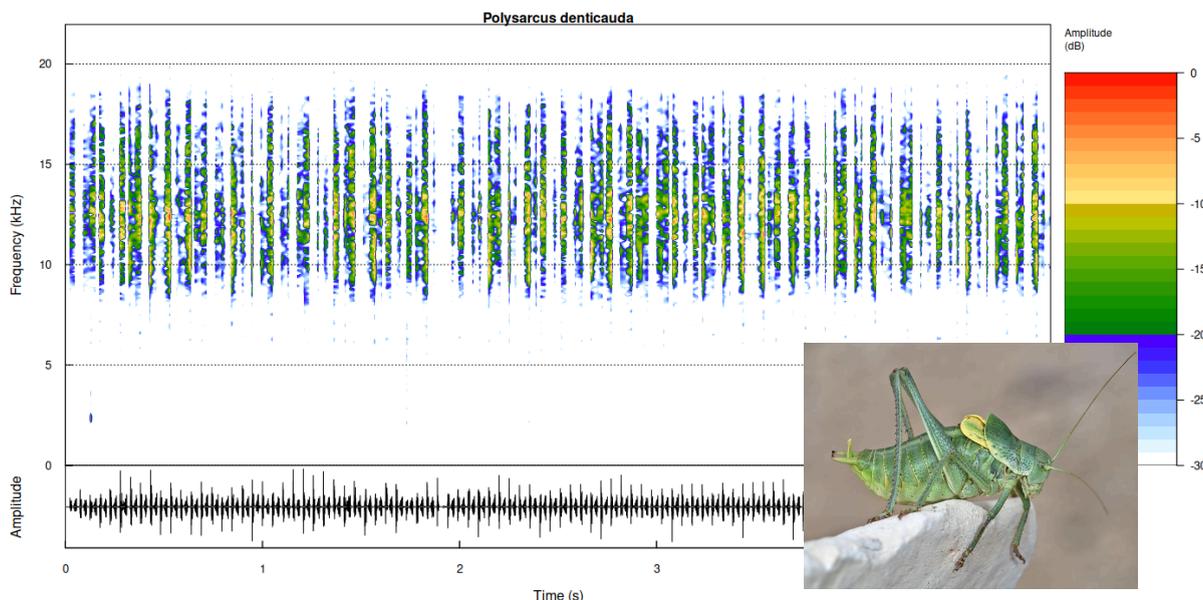


Figure 2 : Représentation (spectrogramme au-dessus et oscillogramme en-dessous) de l'émission sonore caractéristique du Barbitiste ventru

La gamme de fréquences couverte par les accents¹ successifs varie vraisemblablement en fonction de différents facteurs (température, niveau d'excitation de l'individu, ...) résultant par une fréquence maximale d'énergie (le pic d'intensité) assez variable, allant d'environ 13 kHz à 19 kHz.

Les longues stridulations sont composées de différentes phases distinctes, tantôt émises lors du déplacement de l'animal, tantôt lors de longues phases immobiles. Les séquences de chants peuvent alors se prolonger durant plusieurs dizaines de secondes pour s'interrompre soudainement par un 'Tsiïip' typique d'une intensité nettement supérieure à la crécelle monotone qui la précède. S'ensuit alors un silence bref (~200-300 ms) avant la reprise de la crécelle. On observe généralement 2-3 'Tsiïip' si le chant ne s'interrompt pas. Le spectrogramme ci-dessous illustre cette succession caractéristique.

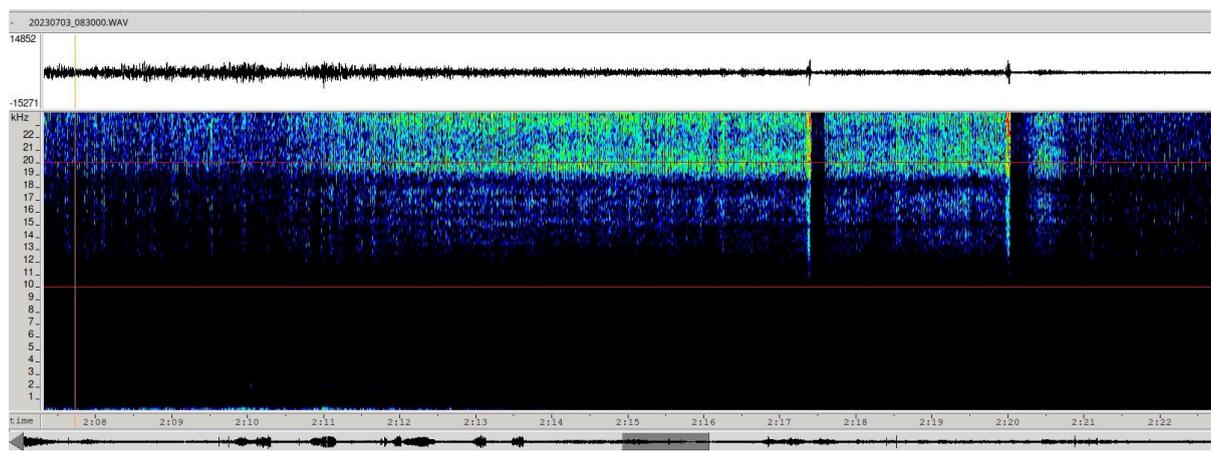


Figure 3 : Succession caractéristique de la séquence "longue stridulation suivie d'un 'Tsiïip' puis d'un bref silence" chez le Barbitiste ventru

De ce fait, le chant de cette espèce est bien audible pour l'oreille humaine qui perçoit des fréquences montant jusqu'à 12 kHz et même jusqu'à plus de 15 kHz pour une oreille intacte. Les 'Tsiïip' ponctuant les phrases sont quant à eux nettement plus faciles à repérer à l'oreille nue grâce à leur forte intensité et à leur fréquence minimale plus grave (~10 kHz). Cette combinaison de critères est diagnostique pour l'espèce par rapport aux nombreux autres types de stridulations d'orthoptères.

Vespertilion bicolore (*Vespertilio murinus*)

Les cris des chauves-souris sont majoritairement émis pour s'orienter lors des déplacements et chasser (cris d'écholocation) sont donc le fait de tous les individus, indifféremment de leur âge ou sexe. En marge de ces signaux, les mâles émettent des cris de parade (cris sociaux) en période d'accouplement, dont la fonction est de nature sociale. Le vespertilion bicolore est détectable par des émissions ultrasonores des deux types : des cris d'écholocation et des phases de chants de parade automnale (principalement en période novembre-décembre). Si les premières (écholocation) sont très difficiles à distinguer d'autres espèces du groupe des Sérotines et Noctules, les secondes (cris sociaux) sont très caractéristiques. Les chants de parade sont constitués de signaux typiques émis en séries très régulières qui peuvent être partiellement entendus à l'oreille humaine (voir spectrogramme ci-dessous). Ils sont

¹ On nomme 'accent' chaque signal bref, pris isolément, qui constitue des séries plus longues (voire plus complexes) d'émission sonores chez divers organismes (chauves-souris, invertébrés, ...)

composés d'un accent très marqué et modulé dont la fréquence initiale avoisine les 30 kHz descendant rapidement vers un plateau bien marqué à ~12-13 kHz. La fréquence de fin des accents diminue ensuite de nouveau sur quelques kilohertz pour se terminer un peu au-dessus de 10 kHz.

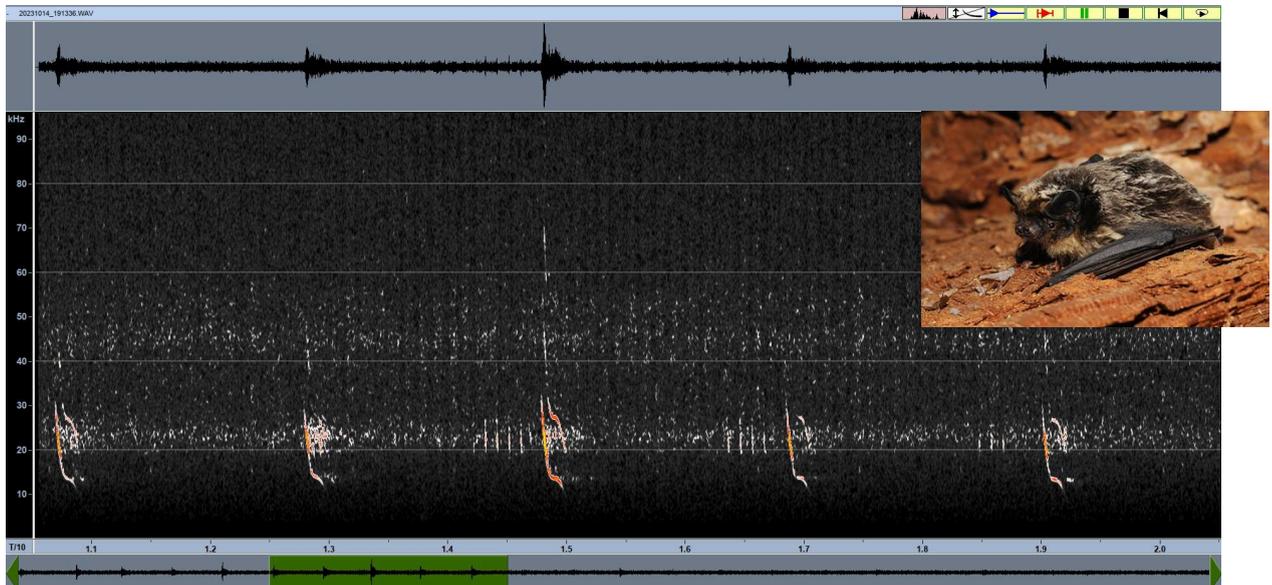


Figure 4 : Séquence typique de cris sociaux (oscillogramme au-dessus et spectrogramme en-dessous) de mâles de *Vespertilion bicolor*

Entre ces signaux très typiques, on observe de manière plus ou moins marquée, des trilles de brefs accents très abrupts. Si l'animal est loin, on n'observe alors pas ces trilles, ni à l'audition, ni visuellement sur spectrogramme.

Méthodes d'analyse proposées et résultats

❖ Chevêchette d'Europe (*Glaucidium passerinum*)

○ Outil de tri automatique

Après exploration des possibilités d'utiliser un classificateur dédié basé sur différents moteurs de machine learning, nous avons opté pour le classificateur BirdNET ([BirdNET analyzer for scientific audio data processing.](#)) pour ses bonnes performances de rapidité et de validité. Cet outil bien connu sous forme d'application pour smartphone et de suivi permanent (Passive Acoustic Monitoring) est disponible et utilisable gratuitement depuis un dépôt Github. On peut alors l'utiliser en local sur tout type d'ordinateur et ce, quel que soit le système d'exploitation (testé sur Linux et Windows). Après installation d'un environnement et des packages appropriés, on exécute le classificateur sur tous les fichiers wav présents dans un répertoire en exécutant une ligne de commande python. Toute la procédure d'installation et la formulation des lignes de commandes sont décrites sur le dépôt Github. Il n'est pas nécessaire de connaître le langage de programmation python pour effectuer les analyses.

○ Avantages de la méthode

Comme pour toutes les applications python, le code est ouvert. Au-delà de l'attractivité philosophique d'un développement libre d'accès pour tous, ceci est non seulement l'assurance d'une gratuité d'utilisation mais également le gage d'une amélioration progressive des performances et possibilités de l'outil grâce à un développement constant par une communauté d'internautes et de contributeurs de par le monde.

La qualité du classificateur ne peut que s'améliorer mais les résultats semblent, à ce stade, déjà très satisfaisants. Il sera donc intéressant de suivre l'évolution du classificateur sur le dépôt mais peut-être pas nécessaire de le mettre à jour de manière systématique.

BirdNET détecte et tente d'identifier toutes les espèces d'oiseaux, on peut soit filtrer la liste des espèces possibles par la localisation géographique et la date des enregistrements, soit en imposant une liste personnalisée d'espèces ciblées (si une espèce qui n'appartient pas à la liste est identifiée, elle n'apparaît simplement pas dans le résultat). Par exemple, on a obtenu de très bons résultats pour la détection de la bécasse en croule dans le jeu de données analysé pour la chevêchette.

○ Inconvénients de la méthode

Le pilotage de l'application par ligne de commande peut paraître rebutant ou compliqué pour la prise en main. Il est toutefois possible de créer une interface graphique qui facilite son utilisation.

Le résultat est un fichier csv pour chaque fichier wav source. Il faut donc ensuite agglomérer tous les csv obtenus en un tableau unifié pour pouvoir exploiter les résultats et les parcourir facilement.

○ Solutions à envisager

Nous avons utilisé un script R pour récupérer les résultats individuels pour exploitation finale en tableur (Excel ou LibreOffice).

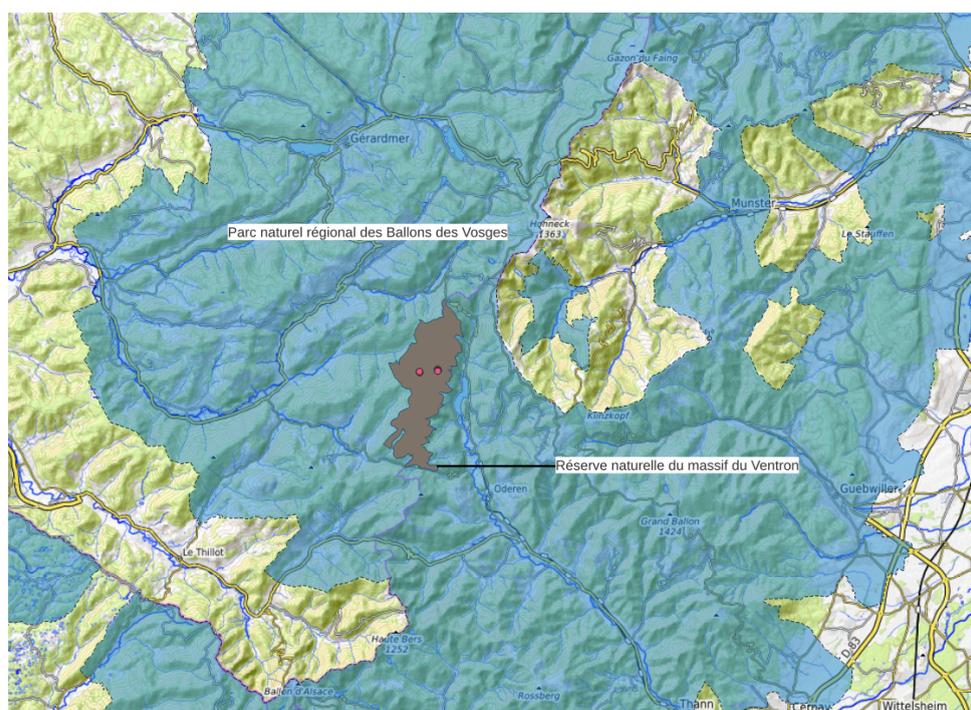
o Résultats de la mise en œuvre sur les données mises à disposition

En plus de rechercher la Chevêchette d'Europe parmi les fichiers enregistrés en 2022 et 2023, on a comparé différents paramétrages testés sur les Audiomoth afin de déterminer ceux qui donnent les meilleurs résultats. Le détail des sessions d'enregistrement et des paramètres sont synthétisés dans le tableau suivant.

2022								
	Sampling rate (kHz)	Gain	Recording cycle (sleep:record)	Filter	Trigger	Périodes/jour	Période d'activité	Détection chevêchette
AM1	48	Med	5:55	-	-	17h - 17h30 (UTC)		0
AM2								
AM3	48	Med	5:55	-	-	17h - 17h30 (UTC)		0
AM4	48	Med	5:55	-	-	17h - 17h30 (UTC)		0
AM5	48	Med	5:55	-	-	5h - 5h30 (UTC) 17h - 17h30 (UTC)		Doute non confirmé!
2023								
	Sampling rate (kHz)	Gain	Recording cycle (sleep:record)	Filter	Trigger	Périodes/jour	Période d'activité	Détection chevêchette
AM1	16	Med	0:300	-	-	2	9.III - 20.III	11/3 (4 AM); 17/3 (2 AM + 30 PM); 18/3 (1 AM)
AM3	16	Med	Non	-	Amplit 5% trig 5s	2	9.III - 20.III	0
AM4	48	Med	0:300	-	-	2	9.III - 20.III	17/3 (2 AM + 5 PM); 18/3 (1 AM)
AM5	48	Med	Non	-	Amplit 5% trig 5s	2	9.III - 20.III	0
2023								
	Sampling rate (kHz)	Gain	Recording cycle (sleep:record)	Filter	Trigger	Périodes/jour	Période d'activité	Détection chevêchette
AM1	16	Med	0:300	-	-	2	20.IV - 3.V	0
AM4	16	Med	0:300	-	-	2	20.IV - 3.V	0
AM5	16	Med	0:300	-	-	2	20.IV - 3.V	0
2023								
	Sampling rate (kHz)	Gain	Recording cycle (sleep:record)	Filter	Trigger	Périodes/jour	Période d'activité	Détection chevêchette
AM1	16	Med	0:300	-	-	2h30 - 4h30 (UTC) 18h30 - 20h30 (UTC)	3.V - 17.V	0
AM4	16	Med	0:300	-	-	2h30 - 4h30 (UTC) 18h30 - 20h30 (UTC)	3.V - 17.V	0
AM5	16	Med	0:300	-	-	2h30 - 4h30 (UTC) 18h30 - 20h30 (UTC)	3.V - 17.V	0

Tableau 1 : comparatif des paramétrages testés en vue de détecter la Chevêchette

Entre 3 et 5 détecteurs Audiomoth ont été utilisés simultanément, soit en parallèle sur un même site (en 2023), soit en des endroits différents (2022).



Carte 1. Localisation des points d'inventaires en 2023, dans la Réserve Naturelle du Massif du Ventron.

La session de mars 2023 a permis de contacter 45 séquences de chant matinal et vespéral. Alors que les 4 appareils étaient installés ensemble, sur la même branche d'arbre, il apparaît ceux configurés pour n'enregistrer que lorsqu'un son suffisamment intense par un 'trigger' n'ont rien donné alors que l'appareil enregistrant continuellement durant des plages de temps prédéterminées a révélé la présence de la Chevêchette. Le trigger a fonctionné puisque qu'il a déclenché l'enregistrement pour d'autres espèces d'oiseaux et des bruits divers (vent, pluie) mais son seuil de sensibilité était trop haut pour les chants discrets de la Chevêchette.

Commentaires sur les paramétrages

Le grand intérêt du 'triggering' est d'économiser l'espace de stockage des cartes microSD des Audiomoth en ne conservant que les séquences où des sons dépassent une certaine amplitude. Avec les paramètres testés sur les Audiomoth 3 et 5 lors de la session de mars 2023, la sensibilité du seuil était encore trop faible pour déclencher l'enregistrement lorsque la Chevêchette chantait mais la session a malgré tout généré jusqu'à 1 Gb de fichiers wav. On pourrait tenter d'affiner (abaisser) le niveau de seuil pour que le 'trigger' soit plus sensible au chant de la Chevêchette mais le risque de déclencher sur encore plus de bruits parasites est élevé. De plus, sur des enregistrements permanents, il est toujours possible de détecter des chants lointains très ténus mais malgré tout repérés par le classificateur BirdNET. Considérant le caractère prospectif de la méthode testée, l'enregistrement permanent (sans trigger) serait probablement la meilleure stratégie. A contrario, un 'trigger' bien réglé serait la meilleure solution pour mesurer l'activité d'un individu localisé sur une période prolongée.

◆ Vespertilion bicolore (*Vespertilio murinus*)

○ Outil de tri automatique

Il existe plusieurs classificateurs orientés pour les chiroptères. Certains sont payants, mais de plus en plus de projets libres et ouverts voient le jour depuis quelques années. Qu'il s'agisse d'applications ouvertes ou propriétaires, les classificateurs sont souvent mal adaptés aux cris sociaux. Nos tests ont montré que le projet BattyBirdNET ([BattyBirdNET analyzer for scientific audio data processing.](#)) repérait très efficacement les cris sociaux du Vespertilion bicolore. BattyBirdNET est une variante de BirdNET (décrit juste avant pour la Chevêchette) dont le moteur de machine learning a été entraîné sur des jeux de données d'ultrasons de chauves-souris européennes. L'installation et l'usage sont donc quasi identiques à BirdNET, à savoir pilotés localement sur un ordinateur personnel en exécutant une ligne de commande python. Toute la procédure d'installation est décrite sur le dépôt Github et il n'est pas nécessaire de connaître le langage de programmation python pour effectuer les analyses.

○ Avantages de la méthode

Mêmes avantages que pour la Chevêchette : application python libre et gratuite et en développement permanent. L'environnement python et les packages nécessaires étant identiques pour BirdNET et BattyBirdNET, il suffit de faire ces opérations d'installation une seule fois pour les deux outils.

L'analyse est rapide, car l'application peut travailler en parallèle avec plusieurs moteurs de classification simultanément (5 par défaut mais ce facteur peut être paramétré).

Cette application génère dans le même temps le tri des autres espèces de chauves-souris, pour autant que les enregistrements aient été acquis à une fréquence d'échantillonnage suffisamment élevée et considérant les limitations valables pour tous les classificateurs.

o Inconvénients de la méthode

Le pilotage de l'application par ligne de commande peut paraître rebutant ou compliqué pour la prise en main. Il est toutefois possible de créer une interface graphique qui facilite son utilisation.

Le résultat est un fichier csv pour chaque fichier wav source. Il faut donc ensuite agglomérer tous les csv obtenus en un tableau unifié pour pouvoir exploiter les résultats.

Le classificateur BattyBirdNET n'est pas très bien entraîné pour certaines espèces car c'est un projet récent encore non abouti. Il faut en tenir compte pour l'interprétation de l'identification des autres espèces de chiroptères.

o Solutions à envisager

Nous avons utilisé un script R pour récupérer les résultats individuels pour exploitation finale en tableur (Excel ou LibreOffice).

o Résultats de la mise en oeuvre sur les données mises à disposition

2021								
	Sampling rate	Gain	Recording cycle (sleep:record)	Filter	Trigger	Périodes/jour	Période d'activité	Détection sérotine
AM1	48	Med	840:60	-	-	18h → 21h (UTC)	11.X → 1.XI	0
AM2	48	Med	840:60	-	-	18h → 21h (UTC)	11.X → 1.XI	Pas de données (Problème d'enregistrement)
AM3	48	Med	840:60	-	-	18h → 21h (UTC)	11.X → 1.XI	0
AM4	48	Med	840:60	-	-	18h → 21h (UTC)	12.X → 1.XI	0
AM5	48	Med	840:60	-	-	18h → 21h (UTC)	12.X → 1.XI	0
2023								
	Sampling rate	Gain	Recording cycle (sleep:record)	Filter	Trigger	Périodes/jour		Détection sérotine
AM1	192	Med	0:300	HPF 8kHz	-	17h → 20h (UTC)	10.X → 17.X	8
AM3	192	Med	0:300	HPF 8kHz	-	17h → 20h (UTC)	10.X → 17.X	0 (1 contact sonar possible?)
AM5	192	Med	0:300	-	Freq 15kHz – 5% (min 5 sec)	17h → 24h (UTC)	10.X → 20.X	0

Tableau 2 : comparatif des paramétrages testés en vue de détecter le Vespertilion bicoloré (alias sérotine dans le tableau)

Commentaires sur les paramétrages

Le faible nombre de détections de Vespertilion bicoloré dans les données traitées rend les conclusions hasardeuses. Ceci dit, similairement aux tests effectués pour la recherche de la Chevêchette, le paramétrage du 'trigger' n'a pas permis d'enregistrer les contacts pourtant typiques de cris sociaux de la chauve-souris alors que l'Audiomoth 1 actif 3 h chaque soir a révélé 8 contacts. Dans ce cas, il y a de meilleures chances d'améliorer les paramètres de 'trigger' pour les raisons suivantes:

- les cris sociaux recherchés n'ayant pas de fonction de recherche de nourriture, il est connu que le Vespertilion bicoloré peut être actif à toutes heures de la nuit, c'est-à-dire lorsque très peu d'émissions sonores confusives sont émises par d'autres chiroptères ou des oiseaux => on peut descendre le seuil de sensibilité sans trop de risque d'enregistrer d'autres émissions sonores
- la gamme de fréquence couverte par le pic d'énergie des cris sociaux (15-25 kHz) est bien déterminée et ne recouvre que très peu d'autres espèces de chiroptères (uniquement les noctules et sérotines). On pourrait donc améliorer un 'trigger' ciblant cette gamme de fréquence. Cette fonction du triggering étant apparue lors

d'une mise à jour récente du projet Audiomoth, nous n'avions pas encore assez de recul ou de retours d'expériences menés par ailleurs pour apprendre à calibrer ces paramètres décrits de manière un peu laconique par OpenAcousticDevices, créateurs du projet Audiomoth

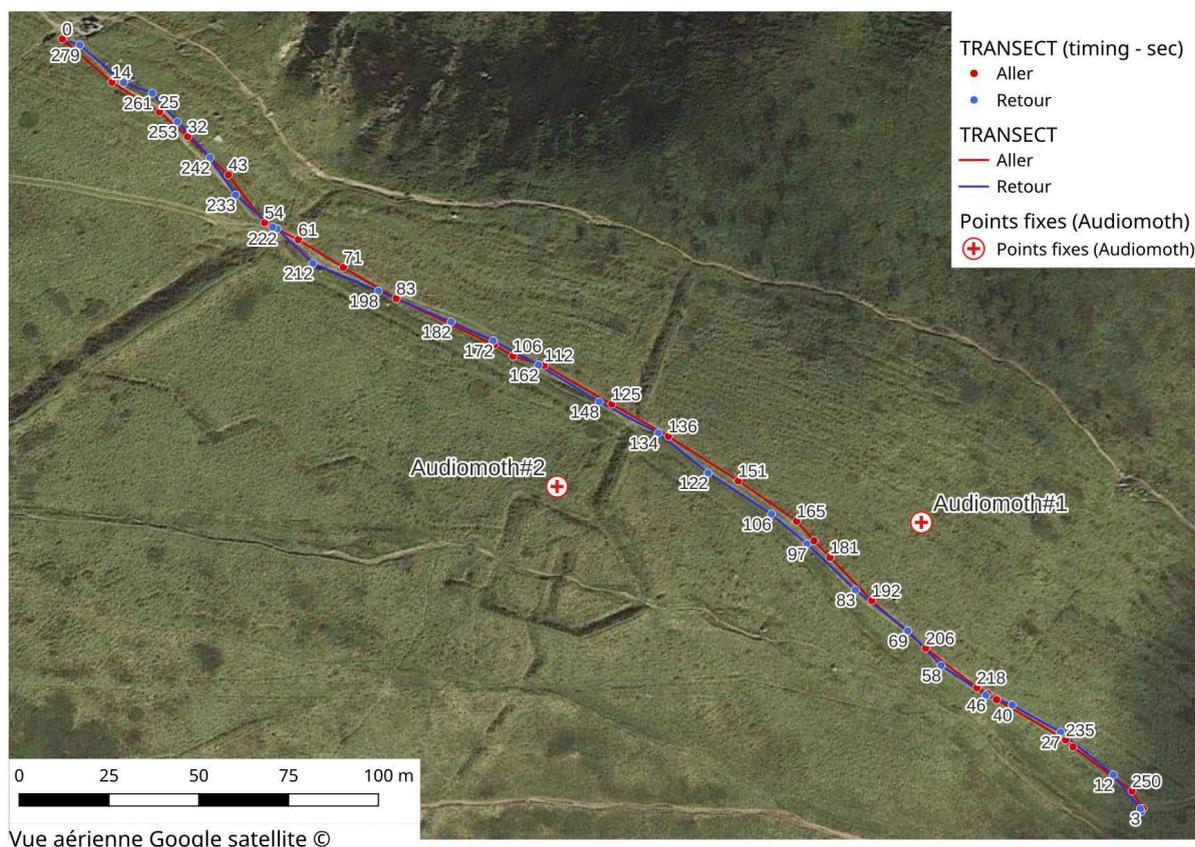
En fonction du compromis "longueur de la période de recherche vs. sensibilité", donc les conséquences sur le volume de fichiers audio produits, il serait intéressant de répéter des tests comparatifs de différents paramétrages, par exemple sur un site où le Vespertilion bicolore est connu ou attendu.

D'autre part, compte tenu de la rapidité et la sensibilité du classificateur BattyBirdNET, on peut aussi opter pour la solution de l'enregistrement permanent qui produit un plus gros volume de fichiers, mais cette solution a des conséquences logistiques sur le stockage et le transfert des données.

◆ Barbitiste ventru (*Polysarcus denticauda*)

Les données analysées sont de deux types :

- points fixes : un Audiomoth est monté sur un support tel qu'une branche d'arbre ou tout autre promontoire (piquet, pierre,...)
- transects : un enregistrement est effectué en continu le long d'un itinéraire qui peut être répété (4 fois en 2021)



Carte 2. Lignes rouge et bleue : localisation du transect avec indication en secondes du déplacement de l'opérateur. Croix rouges : lieux où deux Audiomoth ont été placés sur le site en 2021.

o Outil de tri automatique

Script R créé spécifiquement pour la recherche de cette espèce. L'opérateur indique le chemin d'accès au répertoire contenant les sons enregistrés lors d'une session de recherche. Les opérations suivantes sont alors répétées en boucle pour chaque fichier wav :

- (1) enregistrement découpé en segments de 5 secondes (pour éviter la surcharge de la RAM de l'ordinateur lorsque le fichier est très volumineux)
- (2) recherche d'un pic d'intensité dans une gamme de fréquences allant de 12 à 21 kHz
- (3) si (2) est vrai, recherche de signaux dans une gamme de fréquence 5-30 kHz (gamme plus large que (2))
- (4) si plus de 50 signaux sont détectés et si plus de 100 signaux dont les intervalles correspondent potentiellement à *Polysarcus denticauda* => on garde le fichier pour validation

Pour mettre au point la procédure d'analyse et sa calibration, nous avons utilisé des sons référence obtenus de diverses sources (médiathèques accompagnant des ouvrages d'identification ou de description des chants d'orthoptères, sonothèque de différents portails internet - sonothèque.mnhn.fr, orthoptera.ch, orthoptera.speciesfile.org, xeno-canto.org) ainsi que des enregistrements ciblés effectués sur les sites étudiés.

Quelques statistiques descriptives ont permis de déterminer des caractéristiques suffisamment identifiables par l'analyse automatique pour s'affranchir d'un maximum de bruits parasites (vent, bruit de la végétation) mais pas de certaines autres espèces d'orthoptères.

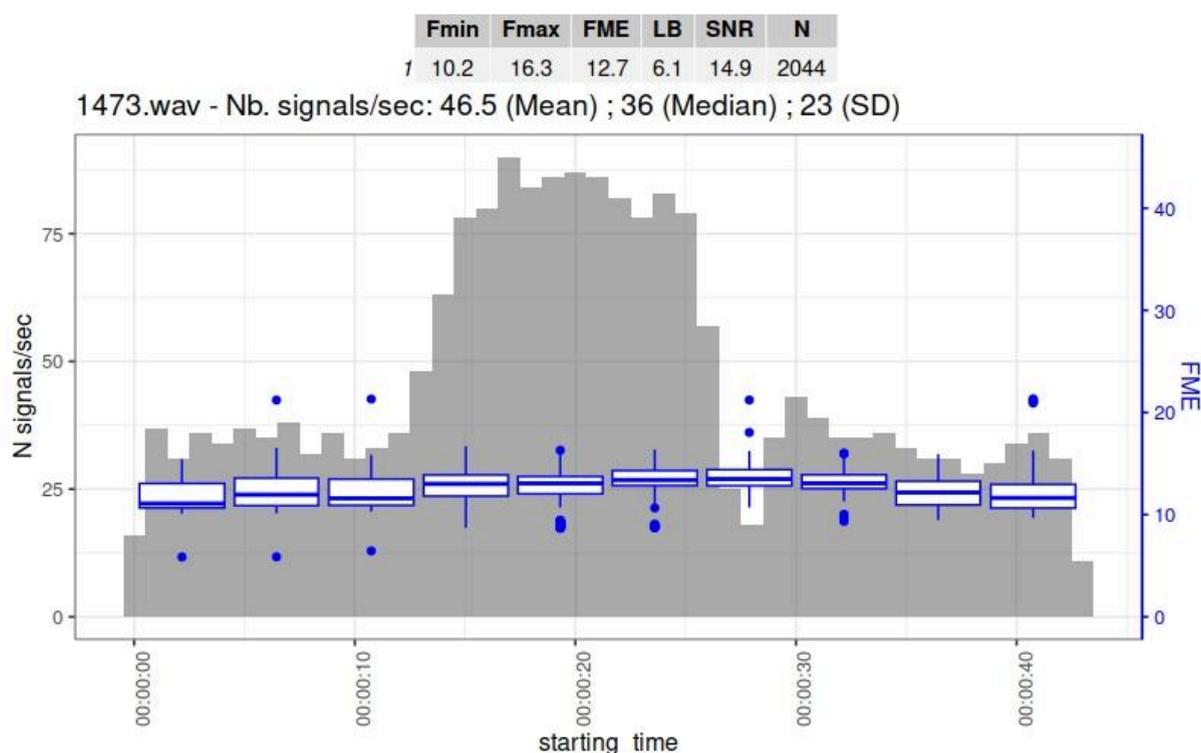


Figure 5 : graphe illustrant l'évolution du nombre de signaux d'intérêt identifiés en une seconde (barres grisées) et leur fréquence de maximum d'énergie (en bleu). Les boîtes à moustaches en bleu attestent de la constance du pic d'énergie autour de la moyenne de 12.7 kHz. Le nombre de signaux par seconde est aussi stable autour d'une valeur de 37-40 signaux/sec, mais peut monter subitement à une valeur deux fois plus élevée, probablement suite à l'interaction de deux individus, rendant ce paramètres plus délicat à intégrer dans un classificateur.

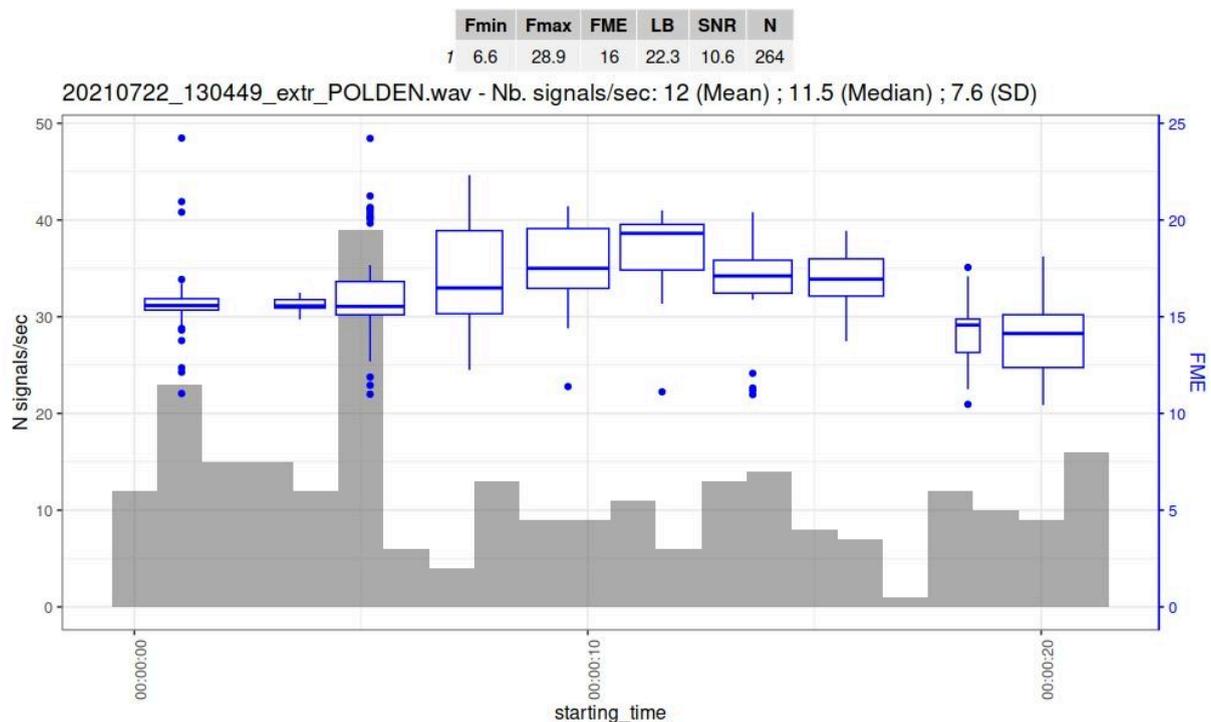


Figure 6 : graphe illustrant l'évolution du nombre de signaux d'intérêt identifiés en une seconde (barres grisées) et leur fréquence de maximum d'énergie (en bleu). On distingue une légère variation du pic d'énergie au cours du temps, conséquence possible du niveau d'excitation de l'individu. La valeur moyenne reste toutefois

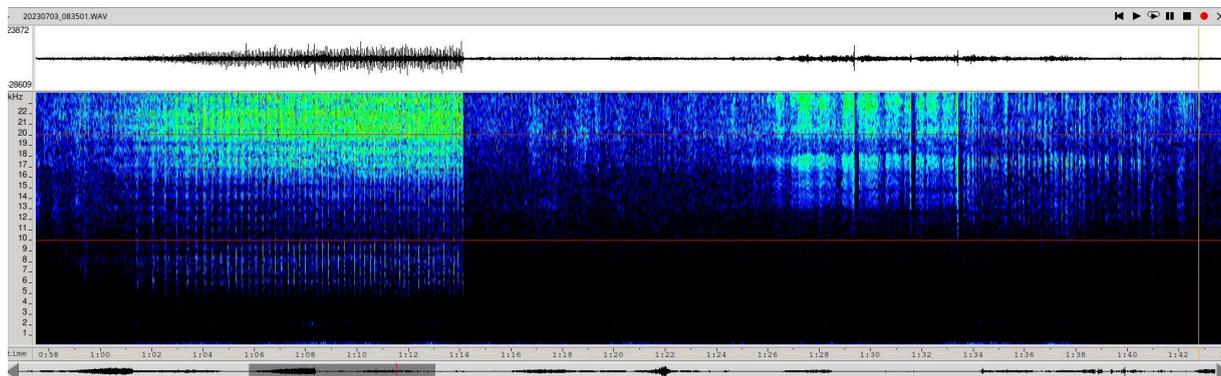


Figure 7 : deux espèces d'orthoptères sont visibles sur ce spectrogramme, d'abord un *Omocestus viridulus* (à gauche) suivi d'un *Polysarcus denticauda* (à droite). Les deux espèces émettent des crécelles prolongées et dont le pic d'énergie est situé vers 20 kHz, toutefois des différences apparaissent au premier regard (et à l'audition): *O. viridulus* descend à des fréquences nettement inférieures à 10 kHz et n'est jamais interrompu brutalement par un 'Tsiïp' intense. En expansion de temps on entend très distinctement une différence de structure sonore entre les deux espèces.

o Avantages de la méthode

Puisqu'il s'agit d'une analyse "sur mesure", l'algorithme est adaptable et évolutif !

Le résultat de l'analyse est une liste ("playlist"), à savoir un fichier texte simple reprenant le chemin d'accès complet vers le fichier wav, un par ligne, que l'on pourra ouvrir dans le sélecteur de fichier de wavesurfer, ce qui rend très efficace la navigation vers les fichiers mis en exergue pour une validation manuelle. Pour les autres applications de visualisation (ChiroSurf, Batsound,..) il faut ouvrir les wav un par un, par copier-coller depuis la playlist.

En mode trigger, on a 9 (a) et 12 (b) jours de fonctionnement (et donc de données) en plus que pour l'appareil équivalent en mode enregistrement continu. Dans le cas de 4a et 5a, le

premier ne donne aucun contact alors que 5a apporte 9 contacts les 26 et 27 juin (quand 4a avait déjà arrêté d'enregistrer) - voir tableau 3 ci-dessous.

Il est probablement assez facile d'obtenir un inventaire complet des orthoptères par une validation manuelle de la playlist *Polysarcus denticauda* ou par une amélioration du script R actuel. Une autre piste est d'attendre le développement d'autres outils de tri (tels que Tadarida, qui identifie déjà certains orthoptères, mais dont la sensibilité pour *Polysarcus denticauda* nous est inconnue).

L'avantage des transects pédestres est qu'ils couvrent un plus grand territoire que les points fixes.

o Inconvénients de la méthode

La difficulté de différenciation de *Polysarcus denticauda* des autres espèces d'orthoptères reste un problème. Avec des enregistrements de très bonne qualité, on pourrait probablement aller plus loin dans l'analyse fine de chaque séquence. Le nombre d'accents constituants et l'évolution de leur amplitude/intensité pourrait être typique, mais des prospections sur le terrain ne permettent généralement pas d'avoir une qualité suffisante.

Il reste encore pas mal de faux positifs dûs au vent !

En mode Trigger, on n'enregistre souvent que le '*Tsiïip*' sans les crécelles avant et le silence qui suit, ce qui complique un peu l'analyse (surtout lorsque le son est très faible voire quasi inaudible).

Les transects pédestres génèrent beaucoup de bruits parasites (bruissements des pas dans la végétation et vent) et les séquences de chants sont parfois incomplètes (absence du '*Tsiïip*' typique). Ces éléments entraînent une plus grande incertitude sur l'identification.

o Solutions à envisager

Une piste d'amélioration pourrait être de tenter de repérer les '*Tsiïip*' (souvent répétés) de manière automatisée. Actuellement, il s'agit d'un critère visuel et auditif diagnostique, mais pas absolu, car il est parfois absent des séquences émises par l'espèce.

On pourrait aussi filtrer sur la longueur des chants (ne garder que les longs) pour éliminer les *Chorthippus* spp., mais le risque de supprimer par erreur les séquences faibles ou entrecoupées de *Polysarcus denticauda* doit être bien mesuré.

Il conviendrait idéalement de supprimer avant analyse les fichiers qui ont été enregistrés hors du terrain car le bruit (transport dans un sac/poche) s'étale dans toutes les fréquences de manière aléatoire, ce qui est difficile à filtrer. Cela génère de nombreux faux positifs qu'il faut ensuite valider un par un (et entraîne donc une perte d'efficacité même si ça va très vite à passer en revue) !

Pour les transects pédestres, une légère modification du script R permettrait de conserver le découpage en tranches de 5 secondes dans le fichier de résultats, facilitant ainsi la localisation des individus a posteriori le long du parcours de l'opérateur. Cette adaptation du script est facile à réaliser puisque c'est déjà comme ça qu'est conçue l'analyse, les résultats étant ré-agglomérés fichier par fichier dans le résultat final.

L'analyse auditive en expansion de temps apporte beaucoup plus de finesse (discrimination des espèces et détection inaudibles en temps réel) mais ce n'est possible que pour les transects car ça prend beaucoup de temps !

o Résultats de la mise en œuvre sur les données mises à disposition

Données analysées et paramétrage des enregistreurs

2021								
	Sampling rate (kHz)	Gain	Recording cycle (sleep:record)	Filter	Trigger	Périodes/jour	Période d'activité	Détection Barbitiste
AM1	48	Med	840:60	-	-	8h → 14h (UTC)	09.VIII → 14.IX	9
AM2	48	Med	840:60	-	-	8h → 14h (UTC)	13.VIII → 15.IX	16
M500	384	-	Continu	-	-	Transect pédestre	22.VII	2 (aller) + 1 (retour)
M500	384	-	Continu	-	-	Transect pédestre	9.VIII	3 (aller) + 2 (retour)
M500	384	-	Continu	-	-	Transect pédestre	12.VIII	2 (aller) + 3 (retour)
M500	384	-	Continu	-	-	Transect pédestre	3.IX	-
2023								
	Sampling rate	Gain	Recording cycle (sleep:record)	Filter	Trigger	Périodes/jour		Détection Barbitiste
AM1a	98	Med	0:300			8h30 → 12h30 (UTC)	7.VI → 18.VI	0
AM1b	98	Med	0:300			8h30 → 12h30 (UTC)	28.VI → 9.VII	9
AM4a	98	Med	0:300			8h30 → 12h30 (UTC)	7.VI → 18.VI	0
AM4b	98	Med	0:300			8h30 → 12h30 (UTC)	28.VI → 9.VII	77
AM5a	98	Med	0:300	HPF 5kHz	Amp 3%	8h30 → 12h30 (UTC)	7.VI → 27.VI	9
AM5b	98	Med	0:300	HPF 5kHz	Amp 3%	8h30 → 12h30 (UTC)	28.VI → 4.VIII	112

Tableau 3 : comparatif des paramétrages testés en vue de détecter le Barbitiste ventru.

De nombreux contacts avec l'espèce ont pu être identifiés (245 au total), tant via les points fixes que lors des transects. Ceux-ci sont détaillés ci-dessous, pour chaque appareil et représentés sur une échelle temporelle.

Transects (2021)

On observe plusieurs contacts (3 à 5) lors de chaque session de transects sauf le dernier (3.IX). En localisant les contacts sur carte (ci-dessous), on constate que les individus chanteurs se situent plus ou moins aux mêmes endroits à l'aller et au retour et entre les sessions, suggérant la présence de 4 voire 5 individus (ou groupes d'individus) le long des 370 m du parcours.

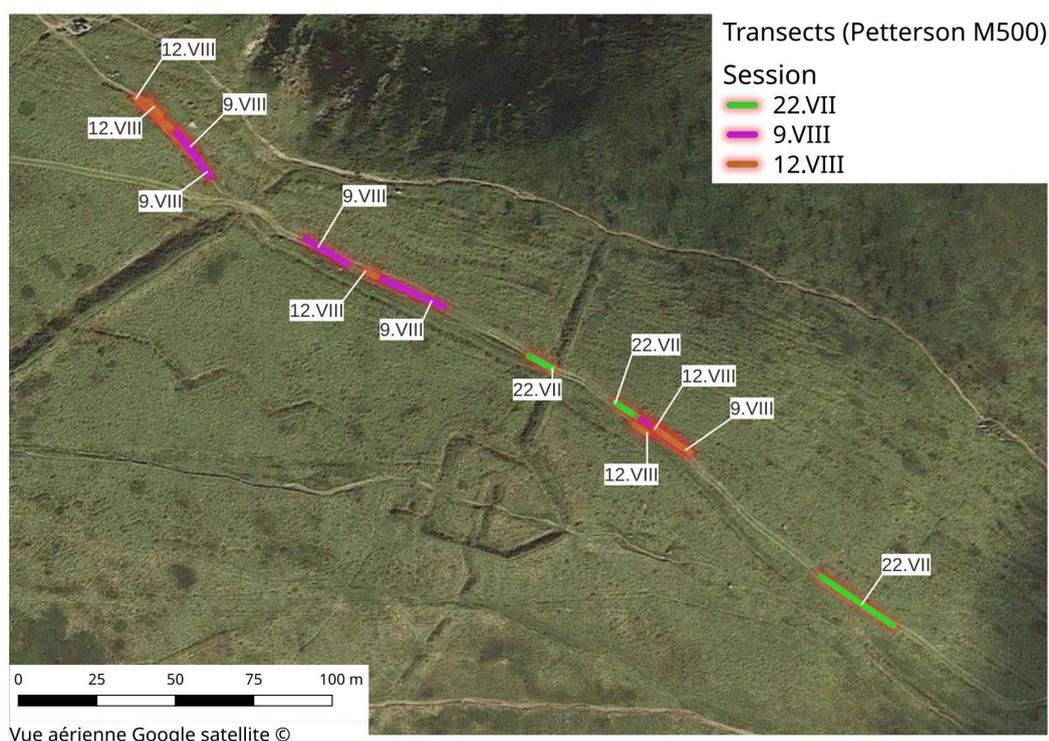


Figure 9 : aperçu des résultats (contacts avec le Barbitiste ventru) sur le transect réalisé à différentes dates

Points fixes (2021)

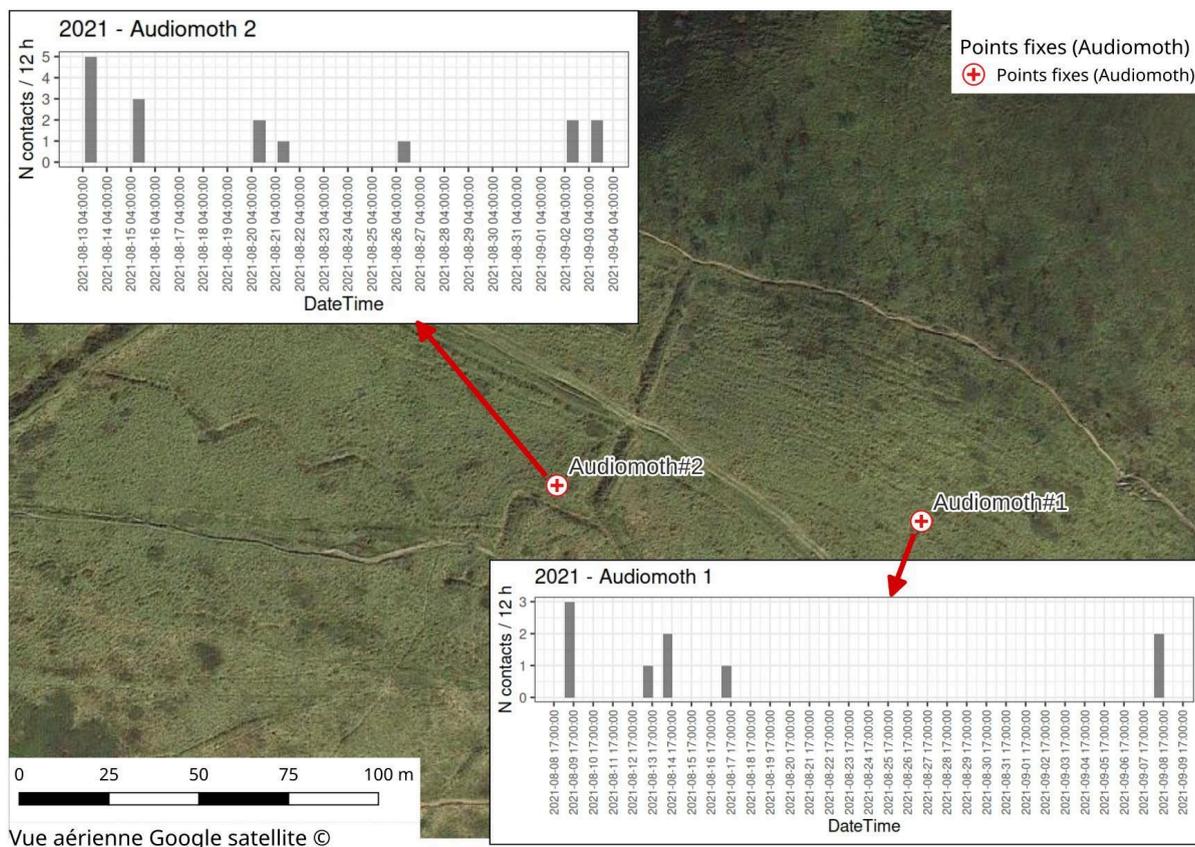


Figure 8 : aperçu des résultats (temporalité des contacts avec le Barbitiste ventru) sur les points fixes

Des chants ont été enregistrés par les deux Audiomoth en 2021, avec 9 et 16 contacts respectivement pour l'Audiomoth 1 et 2. Ces contacts s'étalent du 9 août au 8 septembre alors que les enregistreurs ne fonctionnaient qu'un quinzième du temps (enregistrement durant 60 secondes suivi d'une latence de 840 secondes) durant les 6 heures d'activité.

Points fixes réalisés en 2023

Les Audiomoth 1a, 4a et 5a correspondant à une première période (fin de printemps, du 7 au 18 juin et jusqu'au 27 juin pour le 5a) et les Audiomoth 1b, 4b et 5b à une seconde période (été, du 28 juin au 9 juillet et jusqu'au 4 août pour le 5b).

Les 3 Audiomoth "a" étaient disposés ensemble permettant de comparer les configurations avec ou sans 'trigger', de même pour les Audiomoth "b".

La différence entre les deux périodes est nette. Seuls 9 contacts ont pu être obtenus à la fin de la première période (tableau 3 et figure 12) au niveau de l'Audiomoth 5a, qui est resté actif plus longtemps que le 1a et le 4a. C'est probablement grâce au 'trigger' que le 5a a pu fonctionner plus longtemps que les deux autres et ainsi détecter les premiers chanteurs alors que les appareils 1a et 4a avaient cessé de fonctionner.

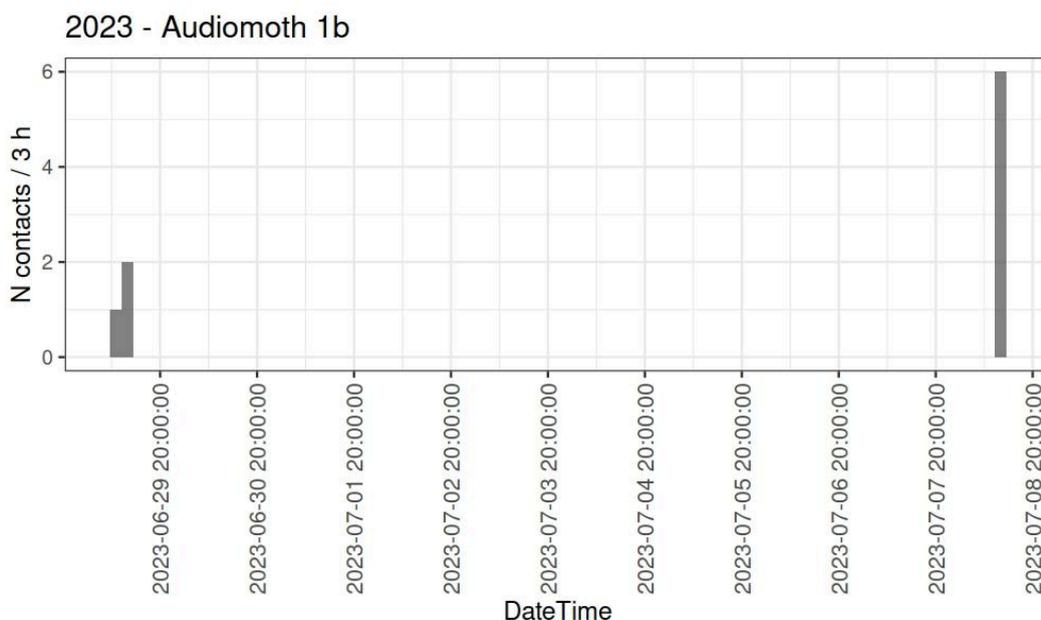


Figure 10 : temporalité des contacts avec le Barbitiste ventru sur le point fixe 1b

La comparaison des Audiomoth 4b et 5b est particulièrement intéressante. Les deux appareils ont enregistré, respectivement, 77 et 112 contacts de *Polysarcus denticauda*, donc plus de contacts pour l'Audiomoth configuré avec 'trigger' (Tableau 3). Mais si l'on compare des périodes identiques, du 28/6 au 9/7, on dénombre 77 contacts pour l'Audiomoth 4a et seulement 49 pour l'Audiomoth 5a (voir la liste des fichiers en annexe et les figures 11 et 13). Par contre, l'Audiomoth 5a (avec 'trigger') a pu fonctionner plus longtemps et, durant la période du 9 au 22 juillet, celui-ci a encore enregistré 63 contacts supplémentaires (voir la liste des fichiers en annexe et la figure 13).

On perçoit ici clairement les avantages et inconvénients de l'usage du 'trigger', qui ne déclenche pas pour certains contacts ténus mais permet une activité plus longue avant de remplir la carte mémoire. On observe sur les fichiers 'triggerisés' plusieurs contacts se résumant au 'Tsiïip' sonore alors que la crécelle n'avait pas déclenché l'enregistrement.

Il y a donc un avantage certain à recourir à la configuration 'trigger' pour prolonger la période d'activité de l'appareil et donc réaliser un monitoring sur une plus longue période.

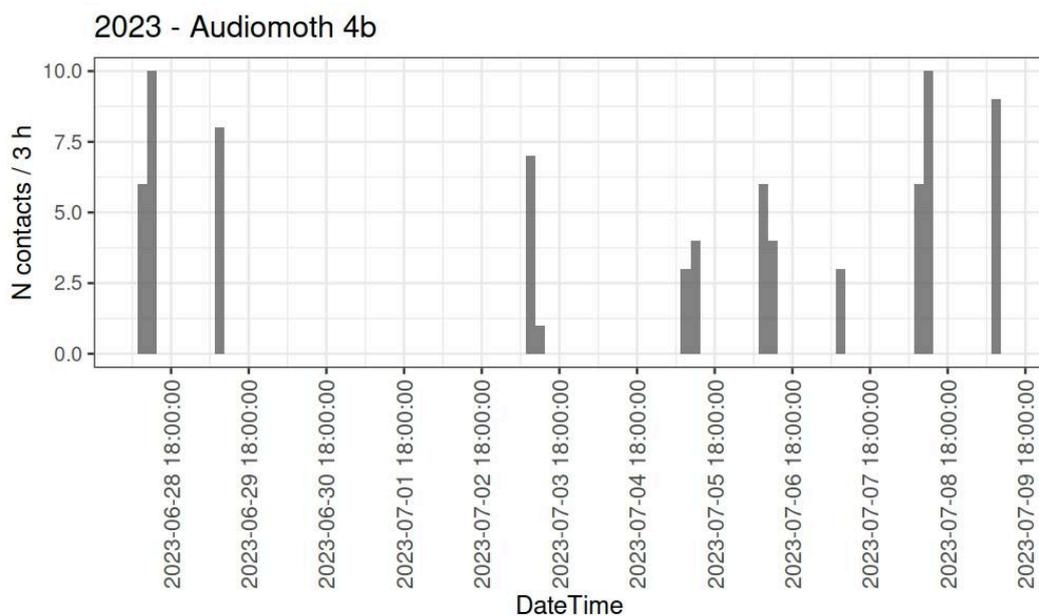


Figure 11 : temporalité des contacts avec le Barbitiste ventru sur le point fixe 4b

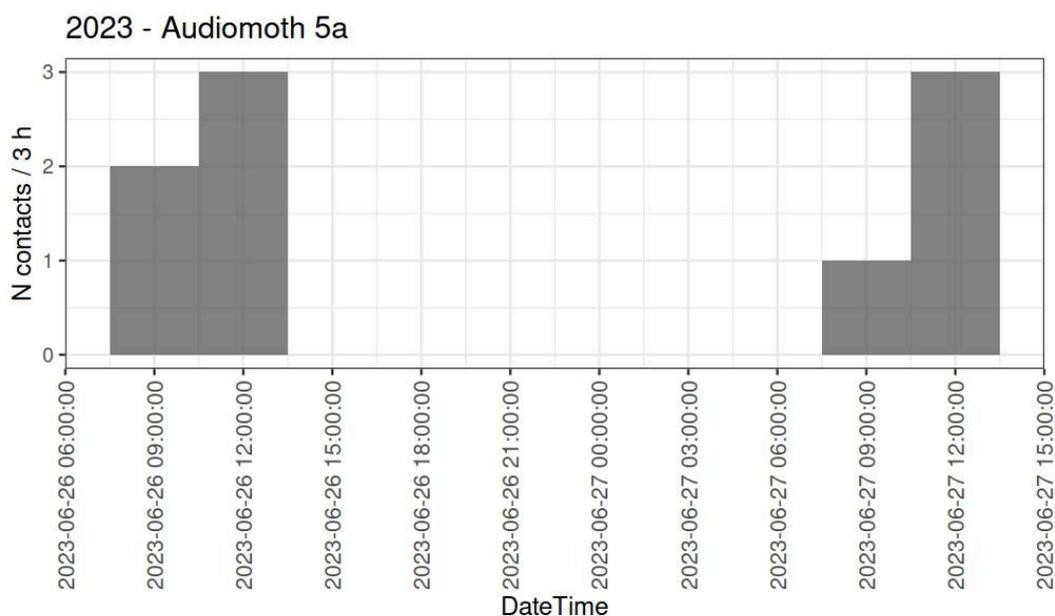


Figure 12 : temporalité des contacts avec le Barbitiste ventru sur le point fixe 5a

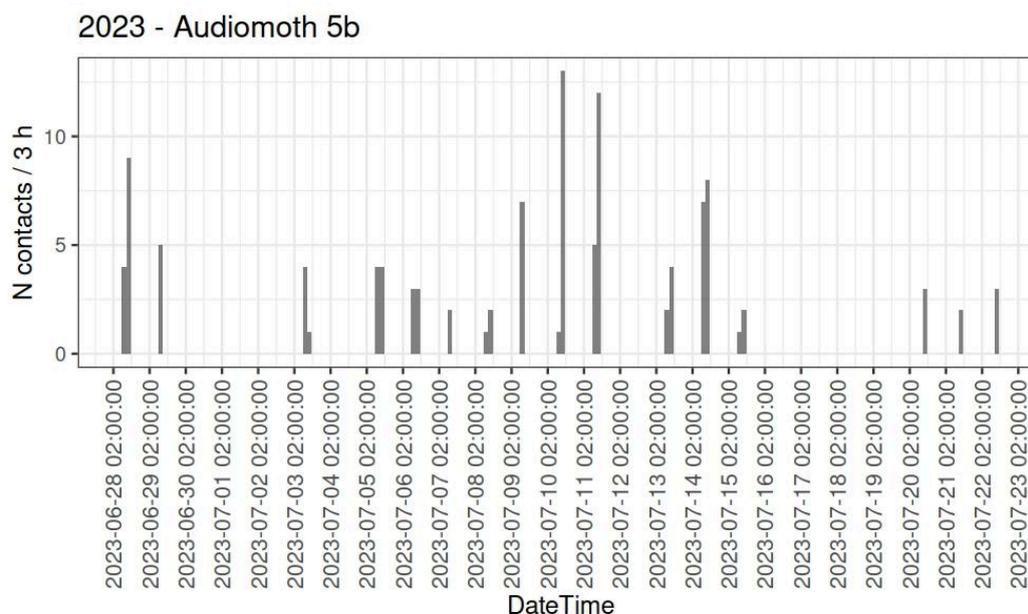


Figure 13 : temporalité des contacts avec le Barbitiste ventru sur le point fixe 5b

Commentaires sur les paramètres

Transects

Quel que soit l'appareil utilisé pour les transects pédestres, le problème majeur de cette méthode sont les bruits parasites des pas dans la végétation qui réduit l'efficacité de la recherche automatisée. La solution est donc l'examen (visuel et auditif) fichier par fichier en complément au script R. Etant donné qu'il n'y a que deux fichiers de moins de 5 minutes (un à l'aller et un au retour) par transect cette opération n'est pas trop chronophage.

On peut donc travailler avec un micro M-500 ou un Audiomoth en enregistrement continu.

Points fixes

Comme expliqué plus haut, la configuration 'trigger' a permis de prolonger la période d'activité des Audiomoth et de réduire le volume de fichiers à analyser (et donc le temps de travail du script). En revanche, les enregistrements continus ont apporté plus de contacts. Il y a donc un compromis à jauger entre une meilleure détermination du nombre de séquences de chant par unité de temps et une meilleure couverture dans la durée.

Ici aussi, réduire le seuil de sensibilité du déclenchement du trigger risque d'augmenter drastiquement la quantité de sons parasites (notamment ceux d'autres orthoptères, mais aussi du vent ou de la pluie) et donc augmenter le temps nécessaire à la validation.

Le script R a parfois sélectionné des fichiers qui ne contenaient que des stridulations d'autres espèces d'orthoptères, similaires à celles de *Polysarcus*, notamment des phases de chant d'*Omocestus viridulus*. Ceci pourrait s'avérer intéressant pour réaliser des inventaires plus larges de l'orthoptérofaune. Notre conseil serait donc d'archiver les données pour une éventuelle ré-exploitation des enregistrements à la recherche d'autres espèces.

◆ Aperçu des différents types d'enregistreurs utilisables

Dans la perspective d'éventuels nouveaux achats de détecteurs, il faut, lors du choix du modèle, considérer attentivement la gamme de fréquences. Chaque détecteur est équipé d'un (ou plusieurs) micro dont la courbe de réponse (càd les fréquences auxquelles il est sensible ou non) est très variable d'un micro à l'autre. Dans le cas d'un usage pour détecter la Chevêchette, il faut un micro performant dans l'audible (0.5 - 5 kHz), un micro ultra-sonore sera par contre nécessaire pour les deux autres espèces (enregistrement jusqu'à 30 kHz à minima). Certains modèles de détecteurs proposent deux types de micro (audible et ultrason), soit interchangeables soit simultanément. En fonction de la nécessité d'enregistrement à la fois en audible et en ultrasonore de manière simultanée (enregistrements en même temps à la même heure) ou successivement (même déploiement sur le terrain mais horaires différents ou sessions séparées avec changement de micro), le choix du détecteur sera orienté.

Parmi les modèles envisageables à la fois pour l'audible et l'ultrasonore, nous avons repéré les modèles suivants (cette liste est probablement non exhaustive).

Chez Open Acoustic Devices :

- détecteur AudioMoth - le micro encapsulé est performant tant dans l'audible (dès 1 kHz) que dans l'ultrasonore
- détecteur MicroMoth - idem AudioMoth



Chez Wildlife Acoustics :

- détecteur *SM4 Bat* avec micro *SMM-A2 acoustic* pour l'audible et *micro SMM-U2* ou *SMM-U1* pour l'ultrasonore (dans ce cas, il faut changer le micro d'une session à l'autre en fonction de l'espèce recherchée)
- détecteur *SMMini Bat* avec l'option *acoustic microphone* (dans ce cas le détecteur a deux micro - un ultrasonore et un audible, qui fonctionnent séparément sur des horaires différents, mais peuvent être déployés au cours de la même session)



Chez Titley Scientific :

- détecteur *Ranger* avec 1 micro *Low-profile acoustic microphone* pour l'audible et 1 micro *US (directional ou omnidirectional)* pour l'ultrasonore - selon que le détecteur est mono ou stéréo, les deux micros peuvent travailler en simultané ou non.
- détecteur *Chorus* avec 1 micro *Omnidirectional Acoustic Microphone* pour l'audible et un *Omnidirectional Ultrasonic Microphone* pour l'ultrasonore - selon que le détecteur est stéréo ou mono, le détecteur pourra respectivement gérer des horaires distincts pour les deux micros (pas d'enregistrement simultané) ou nécessitera un changement de micro sur le boîtier.

