Études acoustiques des Chiroptères ; comparaison des méthodes actif *versus* passif, de la collecte à l'identification.

Par **Michel Barataud** (michel.barataud1@orange.fr)
Cléo Dorléans (cleodorleans.pro@gmail.com)
Sylvie Giosa (sylviemariegiosa@gmail.com)
Manon Devaud (m.devaud@gmhl.asso.fr)

Séance d'écoute actif-passif en parallèle ; Gentioux 2023
© Michel BARATAUD

Mots-clés : inventaires chauves-souris ; détecteurs d'ultrasons ; écologie acoustique ; logiciel Tadarida.

Key-words: bat surveys, ultrasound detectors, acoustic ecology, Tadarida software.

Résumé

Dans le cadre d'un programme d'études pluriannuel, visant à inventorier grâce à l'acoustique les Chiroptères fréquentant les centres et les lisières des différents types de prairies dans plusieurs secteurs du Limousin (Massif Central, France), plusieurs dizaines de milliers de séquences sonores ont été enregistrées par des Passive Recorders. Un lot de 50 460 fichiers wave a été soumis à l'identification de son contenu par le logiciel Tadarida, et les résultats ont été comparés à ceux de l'identification de ces mêmes fichiers par un observateur utilisant la méthode d'écologie acoustique, afin de juger des concordances et des discordances entre

les deux méthodes, concernant le tri des bruits et la classification en espèces (n = 27). En amont de cette comparaison, sur les sites d'enregistrement, des observateurs munis d'Active Recorders ont comparé le nombre de contacts recueillis en actif par rapport au nombre de déclenchements en automatique. Les résultats présentent ainsi les différences entre deux chaînes opérationnelles, humaine *vs* automatique, de la collecte au traitement des données.

Abstract

As part of a multi-year research programme aimed at using acoustic methods to catalogue the bats inhabiting the centres and edges of various types of grassland in several areas of the Limousin (Massif Central, France), tens of thousands of sound recordings were captured using passive recorders. A batch of 50,460 WAV files was analysed for content identification using the Tadarida software, and the results were compared with those obtained by an observer using the acoustic ecology method to analyse the same files, in order to assess the agreement and disagreement between the two methods regarding the sorting of sounds and species classification (n = 27). Prior to this comparison, at the recording sites, observers equipped with Active Recorders compared the number of contacts recorded in active mode with the number of automatic triggers. The results thus highlight the differences between two kind of process – human *versus* automatic – from data collection to data processing.

Introduction

Les études acoustiques sur les Chiroptères se développent considérablement en France depuis les années 2010, dans le cadre d'inventaires ponctuels (études d'impact environnemental), de protocoles d'études locales, ou de suivis nationaux (Vigie Chiro, MNHN). Le but est d'utiliser la source sonore générée par le système sonar des Chiroptères lorsqu'ils se déplacent en vol, en tant qu'indicateur de la diversité spécifique et du niveau d'activité de chasse, pour juger notamment de la qualité d'accueil d'un ou de plusieurs habitats.

Le stade de la collecte des données sonores sur le terrain intervient en amont de la réalisation d'une étude (après élaboration d'un protocole adapté bien entendu). Il peut être assuré par des observateurs actifs sur le terrain (écoute hétérodyne + enregistrements en expansion de temps) et/ou des enregistreurs passifs se déclenchant automatiquement selon des paramètres ajustés par les utilisateurs pour filtrer positivement le mieux possible les signaux de Chiroptères. Ces deux modes de collecte des données brutes n'ont pas encore fait, à notre connaissance, l'objet de comparaisons (autres que ponctuelles, non publiées, et avec des outils disparates) quant à leurs performances qualitatives et quantitatives respectives.

Le stade de l'identification du contenu des séquences comprend deux phases :

1. la séparation entre les signaux de Chiroptères et d'autres signaux sonores qualifiés de « bruit » parce que n'intéressant pas les inventaires chiroptérologiques (autres animaux, vent, pluie, etc.). Cette séparation, réalisée en direct pour un observateur en écoute active, ne se fait qu'a posteriori (soit de façon manuelle, soit grâce à un logiciel) pour les enregistrements automatiques, qui génèrent presque toujours une majorité de séquences ne contenant que du bruit (50 à 98 %, moyenne 89 % ; Barataud *et al.*, 2025). Lorsque le nombre d'enregistrements dépasse un volume jugé trop important, le recours à un logiciel est généralement choisi par une majorité d'observateurs ;
2. l'identification des Chiroptères, jusqu'à l'espèce si la qualité de l'enregistrement et des signaux le permettent, ou à un niveau taxonomique supérieur. Cette phase peut être réalisée manuellement par un observateur utilisant une méthode adéquate et/ou son expérience personnelle, ou de façon automatique par un logiciel.

L'automatisation des relevés et du processus de classification-identification, grâce respectivement à des enregistreurs passifs et des programmes informatiques, est de plus en plus souvent privilégiée par rapport aux détecteurs et méthodes d'identification utilisables en manuel, qui font appel à des observateurs actifs. La professionnalisation de cette discipline, notamment due à la prise en compte des Chiroptères en tant qu'espèces protégées et bio indicatrices dans les études d'impact obligatoires, explique ce recours à l'automatisation, étant donné les grands volumes de données récoltés chaque année par un grand nombre d'observateurs, parfois fraîchement recrutés et ne possédant pas toujours l'expérience requise.
Or les rentabilités respectives de ces deux techniques et méthodes, tout au long de la chaîne d'acquisition et de traitement des données, n'ont guère été évaluées.

Une comparaison correcte au stade de la collecte des données sonores était jusque-là biaisée par la disparité des caractéristiques techniques des

enregistreurs passifs et des détecteurs manuels. Mais depuis quelques années, grâce à Jean-Do Vrignault qui a conçu en open source et organisé généreusement la construction et la diffusion des Teensy Recorders avec l'aide d'un réseau de bénévoles (voir la liste de discussion **https://discord.gg/VCHEMPGnrf**), il existe enfin des appareils à faible coût, de bonne qualité, à vocation mixte (passif ou actif), dont l'homogénéité des composants et du logiciel permet un comparatif pertinent.

Les logiciels de classification et d'identification automatiques font depuis quelques années l'objet de réserves sur la fiabilité de leurs résultats (Russo & Voigt, 2015). Des études ont déjà tenté de vérifier les résultats de plusieurs logiciels d'identification automatique, dont les deux les plus utilisés en France :

- Sonochiro® (**https://sonochiro.biotope.fr/**), développé et commercialisé par le bureau d'études Biotope et largement utilisé en France, à partir de lots de séquences émises par des individus identifiés au préalable (Rydell *et al.*, 2017), ou validées grâce à une analyse manuelle (Fauvel *et al.*, 2014 ; Jay, 2018), ou les deux (Brabant *et al.*, 2018). Mis à part l'étude de Jay (2018) qui compare 2196 séquences de 29 espèces, les autres études utilisent un cortège spécifique restreint (7 à 9 espèces), parfois enregistrées uniquement en milieu ouvert (ce qui réduit le nombre de signaux FM, souvent mal classifiés par les systèmes automatiques) ;
- Tadarida (Bas *et al.*, 2017), développé en open source par le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris dans le cadre du programme Vigie Chiro (**https://www.vigienature.fr/fr/vigie-chiro**), a déjà été testé dans une étude récente initiée de façon pertinente par ses concepteurs (Barré *et al.*, 2019) ; 1910 séquences ont été vérifiées manuellement, mais pour seulement 10 espèces, car 2 groupes (*Myotis* spp. et *Plecotus* spp., également testés) constituent des complexes acoustiques au sein desquels les espèces (excepté *M. nattereri* dont certains signaux sont caractéristiques) restent problématiques pour l'identification automatique.

Le Groupe Mammalogique et Herpétologique du Limousin (GMHL) a débuté en 2023 un programme d'études sur les Chiroptères des milieux prairiaux et leurs lisières arborées dans le nord-ouest du Massif Central de la France. Ce programme comprend un volet annexe qui met en regard, dans des conditions standardisées, les deux méthodologies de collecte et de traitement (manuel *versus* automatique) des séquences acoustiques, tout au long des étapes suivantes :

- collecte simultanée des données sur le terrain, dans des conditions standardisées, par un observateur doté d'un détecteur Active Recorder (hétérodyne et expansion de temps) et par un enregistreur automatique Passive Recorder ; ces deux appareils sont constitués de composants électroniques identiques et du même logiciel de fonctionnement ;
- tri (bruit ou Chiroptères) des séquences ;
- identification des espèces par un observateur suivant la méthode d'écologie acoustique (Barataud, 2026) d'une part, et par le logiciel Tadarida d'autre part.

Les résultats de ce volet d'étude, présentés ici, sont basés sur un lot de données acoustiques (50 460 séquences de 5 secondes ; 27 espèces identifiées en manuel) collectées sur le terrain entre 2023 et 2026.

Méthode et matériel

Codes taxons

Pour une lecture facilitée à destination des usagers de Tadarida, nous avons conservé dans les figures de l'article les codes taxons utilisés par ce logiciel ; le **Tableau 1** précise la correspondance avec les noms vernaculaires et scientifiques des espèces.

Tableau 1.
Légende des codes d'espèces utilisés par Tadarida, et repris dans les Figures 7 à 10 et les Annexes 1 à 5.

Codes taxons Tadarida	Nom scientifique latin	Nom vernaculaire français
Rhifer	*Rhinolophus ferrumequinum*	Grand rhinolophe
Rhihip	*Rhinolophus hipposideros*	Petit rhinolophe
Rhieur	*Rhinolophus euryale*	Rhinolophe euryale
Myodau	*Myotis daubentonii*	Murin de Daubenton
Myocap	*Myotis capaccinii*	Murin de Capaccini
Myobra	*Myotis brandtii*	Murin de Brandt
Myomys	*Myotis mystacinus*	Murin à moustaches
Myoalc	*Myotis alcathoe*	Murin d'Alcathoe
Myoema	*Myotis emarginatus*	Murin à oreilles échancrées
Myonat	*Myotis nattereri*	Murin de Natterer
Myobec	*Myotis bechsteinii*	Murin de Bechstein
Myomyo	*Myotis myotis*	Grand murin
Myobly	*Myotis blythii*	Petit murin
Nycnoc	*Nyctalus noctula*	Noctule commune
Nyclei	*Nyctalus leisleri*	Noctule de Leisler
Nyclas	*Nyctalus lasiopterus*	Grande noctule
Eptser	*Eptesicus serotinus*	Sérotine commune
Eptnil	*Eptesicus nilssonii*	Sérotine de Nilsson
Vesmur	*Vespertilio murinus*	Sérotine bicolore
Pippip	*Pipistrellus pipistrellus*	Pipistrelle commune
Pipnat	*Pipistrellus nathusii*	Pipistrelle de Nathusius
Pipkuh	*Pipistrellus kuhlii*	Pipistrelle de Kuhl
Pippyg	*Pipistrellus pygmaeus*	Pipistrelle soprano
Hypsav	*Hypsugo savii*	Vespère de Savi
Pleaur	*Plecotus auritus*	Oreillard roux
Pleaus	*Plecotus austriacus*	Oreillard gris
Plemac	*Plecotus macrobullaris*	Oreillard montagnard
Barbar	*Barbastella barbastellus*	Barbastelle
Minsch	*Miniopterus schreibersii*	Minioptère de Schreibers
Tadten	*Tadarida teniotis*	Molosse de Cestoni
Plecsp	*Plecotus sp.*	Oreillard sp.
MyoGT	*Myotis blythii-myotis*	Petit ou Grand murin
noise		bruit (sans Chiroptère)

Zone d'étude, secteurs, sites et stations

Les enregistrements sonores utilisés pour cette étude comparative, ont été réalisés dans le cadre d'un programme pluriannuel de recherche appliquée, en cours de réalisation, encadré par le GMHL (Groupe Mammalogique et Herpétologique du Limousin), visant à inventorier les espèces de Chiroptères fréquentant les milieux prairiaux, en comparant leurs activités : en prairies permanentes ou artificielles, en centre et en lisière, avant et après fauche ou mise en pâture.

La zone d'étude est la région Limousin (départements de Corrèze, Creuse et Haute-Vienne).

A l'intérieur de la zone d'étude, quatre secteurs ont été choisis (**Figure 1**), en raison de leurs contextes biogéographiques différents : le sud-ouest Corrèze (prairies thermophiles sur substrats divers), le sud-ouest Haute-Vienne (prairies collinaires sous influence atlantique du PNR Périgord-Limousin), le Plateau de Millevaches (prairies de la Montagne limousine), la Basse-marche (prairies de plaine en système bocager) ; ses secteurs accueillent l'ensemble des 28 espèces inventoriées à ce jour en Limousin.

Chaque secteur comprend plusieurs sites situés si possible à plusieurs kilomètres les uns des autres. Chaque site comprend une paire de stations d'écoute correspondant

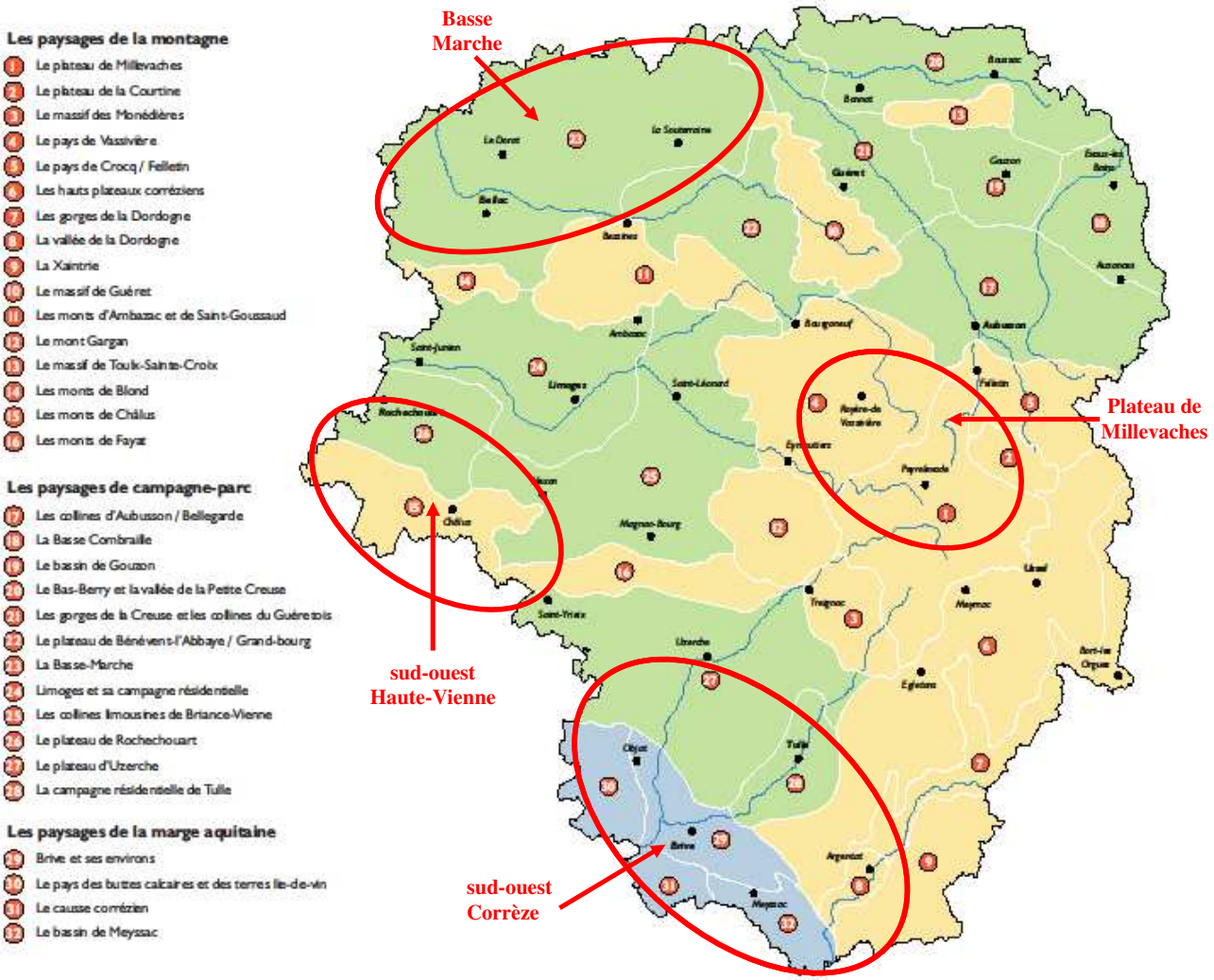


Figure 1.
Situation des quatre secteurs au sein de la zone d'étude limousine. Les ensembles paysagers sont ceux définis par la DREAL (2016).

à des types d'habitats différents : prairie subnaturelle de fauche ou de pâture, bordée ou non d'une lisière arborée ; culture herbacée. Les microphones sont positionnés soit en centre de prairie à plus de 50 m de toute lisière, soit contre une lisière arborée feuillue donnant sur une prairie. La station d'écoute est définie comme le volume de perception du microphone ; la méthode d'écologie acoustique uniformise sa valeur entre espèces de Chiroptères, à l'aide des coefficients de détectabilité (Barataud 2020) ; le logiciel Tadarida quant à lui ne propose que des contacts bruts, induisant une disparité des volumes de perception entre les espèces contactées, ce qui empêche toute comparaison des niveaux d'activité, entre espèces ou entre habitats toutes espèces confondues.

Relevés automatiques

Le programme d'étude initial sur les Chiroptères fréquentant les milieux prairiaux, a fait le choix de collecter les données sonores par le biais d'enregistreurs automatiques ; ce choix se justifie par : le besoin de travailler sur des nuits complètes (pour étudier la phénologie d'activité nocturne) ; une forte pression d'observation (64 nuits par an en moyenne) ; une disponibilité insuffisante des observateurs locaux formés à la détection active.

Figure 2.
Passive Recorder (Jean-Do Vrignault).

Les détecteurs enregistreurs automatiques utilisés sont des **Passive Recorders** (**Figure 2**) développés par Jean-Do Vrignault. Les appareils ont été paramétrés afin de garantir une sensibilité maximale au déclenchement : fréquence d'échantillonnage (Fe) 384 kHz, résolution 12 bits, seuil relatif 13 dB, filtre linéaire, gain numérique +18 dB, n. détections 1/8, durée des séquences 5 s (pour faciliter le calcul des indices d'activité), programmation ½ h avant coucher du soleil et ½ h après lever du soleil. Les microphones utilisés sont tous de type MEMS ICS-40730 (TDK InvenSense), équipés d'une coque de protection contre les intempéries conçue et réalisée par **Grégory Bruneau**. Ils sont reliés aux boîtiers par un câble de 3 m. Les micros sont fixés horizontalement sur un piquet entre 0,5 et 1 m de hauteur (**Figure 4**). Les appareils étaient programmés pour un déclenchement 30 minutes avant le coucher du soleil, et un arrêt 30 minutes après le lever du soleil.

Relevés manuels

Les écoutes actives ont été effectuées en simultanéité avec les enregistrements passifs, dans des conditions standardisées. Lors de quelques nuits d'enregistrements en automatique, des observateurs munis de détecteurs actifs ont réalisé en parallèle des soirées de 3 heures à partir du crépuscule ; cette couverture partielle de la nuit est sans incidence sur les résultats comparatifs, puisque c'est la simultanéité des relevés passifs *vs* actifs qui est importante dans ce protocole.
Deux observateurs (SG et MB) ont effectué la totalité des écoutes actives (20 soirées de 3 h et 2 soirées de 2 h, soit 64 h cumulées, sur 3 sites et 6 stations du secteur de Millevaches) ; leurs niveaux d'expérience en écoute active sont élevés et similaires ; par contre leurs sensibilités auditives sont différentes (l'un ayant une

Figure 3.
Active Recorder (Jean-Do Vrignault).

bonne sensibilité jusqu'à 14-16 kHz, l'autre seulement jusqu'à 6-8 kHz), ce qui permet d'inclure ce type de variation due à l'observateur dans le rendu de l'écoute hétérodyne, et d'évaluer son influence. Les contacts de Chiroptères, captés grâce à l'écoute en hétérodyne, étaient reportés sur une fiche manuscrite ; ils étaient identifiés en direct pour les cas simples, ou enregistrés en expansion de temps pour des analyses auditive et informatique ultérieures ; une montre servait à la comptabilité des tranches de 5 secondes.
Les détecteurs enregistreurs manuels utilisés sont des **Active Recorders** (**Figure 3**) développés par Jean-Do Vrignault. Les appareils ont le paramétrage suivant : fréquence d'échantillonnage (Fe) 384 kHz, résolution 12 bits, niveau d'utilisateur « expert », pré-trigger de 3 s, gain numérique +12 dB ; gain réglable sur boîtier : +20dB.
Le microphone relié à l'Active Recorder est fixé horizontalement sur un piquet entre 0,5 et 1 m de hauteur, situé à 0,5 m maximum du microphone relié au Passive Recorder (**Figure 4**). Les microphones utilisés sont les mêmes que pour les enregistrements en automatique : MEMS ICS ICS-40730 (TDK InvenSense), équipés d'une coque de protection contre les intempéries conçue et réalisée par Grégory Bruneau. Ils sont reliés à leurs boîtiers respectifs par un câble de 3 m pour le Passive Recorder et de 20 m pour l'Active Recorder (pour éloigner suffisamment l'observateur des 2 micros disposés en parallèle, afin qu'il n'engendre pas de bruits parasites). Des tests ont montré qu'aucune perte d'intensité n'était liée à la longueur des câbles au moins jusqu'à 100 m. Les micros étant susceptibles de présenter entre eux une variation possible de 3 dB, chaque paire utilisée par chaque observateur a fait l'objet de tests préalables (enregistrements automatiques simultanés côte-à-côte pour vérifier une différence du nombre de déclenchements < 5 %) et de tests de qualité (test étendu des Teensy Recorders) avant chaque utilisation.

Figure 4.
Stations d'écoute (centre de prairie à gauche, lisière à droite) de comparaison actif *vs* passif sur une prairie après fauche. Les deux microphones, au sommet de piquets, sont reliés pour l'un à l'enregistreur automatique Passive Recorder en fonction toute la nuit, et pour l'autre au détecteur manuel Active Recorder manipulé par l'observateur (distant de 20 mètres pour ne pas générer de bruits parasites) durant les 3 premières heures de la nuit.

Traitement manuel des fichiers sons

La visualisation et la mesure des signaux de Chiroptères sont effectuées sur le logiciel **BatSound** 4.4 développé par Pettersson Elektronic AB. L'analyse manuelle des séquences issues d'enregistrements automatiques et la saisie des données sur la base Excel nécessitent du temps, mais quelques détails peuvent accélérer les opérations : l'intitulé des titres de fichiers incluant un préfixe de 5 caractères donnant l'identifiant de la station, la date et l'heure ; l'utilisation du logiciel FreeCommander pour importer la liste des titres de fichiers sur la base Excel via un fichier .txt, et de formules sur Excel pour renseigner automatiquement plusieurs champs à partir de la colonne du titre de fichier (année, mois, date, heure, minutes, secondes, type d'habitat, nom station) ; un compromis de réglage de la densité de l'image sur spectrogramme grâce au seuil (Treshold) pour contraster au mieux les signaux dans le bruit de fond sans entraîner un affichage sur écran trop lent ; le défilement et la lecture éventuelle des fichiers sur BatSound est facilité par les raccourcis clavier (« N » pour suivant, « B » pour précédent, « P » pour lecture et « S » pour stop), ainsi le nombre de fichiers analysés (saisie comprise sur la base de données) est de 500 à 1000 par heure lorsque de nombreuses espèces de Chiroptères alternent fréquemment, et peut aller jusqu'à 2300 par heure en cas de longues séries homogènes (bruit de fond léger sans Chiroptères, ou Pipistrelle commune).

L'identification des espèces est réalisée selon la méthode d'écologie acoustique (Barataud, 2026), qui permet d'attribuer à chaque contact une classification jusqu'à l'espèce avec un taux supérieur à 95 %, y compris pour les groupes complexes du genre *Myotis*. Certaines espèces peuvent être identifiées par l'analyse auditive seule (*B. barbastellus*, *Pipistrellus* spp., *E. serotinus*, *Nyctalus* spp., etc.), ou par la visualisation rapide sur spectrogrammes des structures et gammes de fréquences (*B. barbastellus, P. pipistrellus, N. lasiopterus, R. hipposideros*…) ; pour les cas plus complexes (*Myotis, Plecotus*, « Sérotules[1] »), l'analyse auditive des séquences est complétée par une analyse informatique. Afin d'éviter le biais observateur, toutes les identifications sont effectuées ou validées par une même personne (MB) avant d'être intégrées dans la base de données.

La mesure de l'activité est réalisée selon la méthode de comptabilité dite « précise » : un contact correspond à l'occurrence de signaux d'un individu d'une espèce de Chiroptère, par tranches de cinq secondes (Barataud, 2020) ; s'il y a plusieurs individus de la même espèce dans une même séquence de 5 s, 1 contact est attribué à chaque individu. Le type d'activité est apprécié grâce à la rythmique et la structure des signaux : chasse (présence de phase de capture ou d'un rythme typique de recherche de proies), transit (rythmes témoignant d'une recherche passive d'obstacles), social (signaux de communication intraspécifique).

La détectabilité des espèces dépend de l'intensité des émissions sonar, qui montre des différences importantes entre les espèces, empêchant la comparaison de leurs indices d'activité respectifs ; cette intensité dépend aussi du milieu de vol pour un même individu. Afin de pondérer ces disparités, la méthode d'écologie acoustique préconise l'utilisation d'un coefficient de détectabilité acoustique, corrélé à la distance maximale de perception de chaque espèce évoluant dans différents habitats

1 Néologisme qui désigne le groupe des Sérotines et Noctules.

(ici en milieux de prairie ou de lisière ouverte ; **Tableau 2**). *P. pipistrellus* a été choisie comme espèce « étalon » (coefficient = 1) en raison de sa grande ubiquité et de sa forte abondance d'activité, qui en font une bonne référence comparative. Les coefficients sont appliqués aux contacts bruts pour permettre une comparaison des espèces ou des groupes d'espèces entre eux. En effet, même des résultats exprimés en contacts « toutes espèces confondus », peuvent être biaisés par l'activité ponctuellement forte d'espèces aux intensités très différentes : accorder la même valeur à 50 contacts de Noctule audible à plus de 100 mètres, et 50 contacts de *R. hipposideros* audible à moins de 5 mètres, serait incohérent. Cette méthode a aussi pour effet de standardiser le volume d'une station d'écoute (dépendant de l'intensité d'émission des espèces), qui correspond ainsi pour toutes les espèces à celui de *P. pipistrellus*, c'est-à-dire schématiquement à un hémisphère (les microphones utilisés sont peu directionnels) de 25 mètres de rayon. La faible probabilité de contacter les espèces discrètes acoustiquement (voir haut du **Tableau 2**) ne peut être améliorée par les coefficients : elle n'est compensée que par l'augmentation de la pression d'écoute ; mais lorsqu'une de ces espèces est contactée, l'application des coefficients corrige sa discrétion acoustique.

Les niveaux de confiance de l'identification en écologie acoustique sont : certain (présence de critères paramétriques et/ou comportementaux spécifiques à 100 %) ; probable (taux d'erreur estimé < 20 % ; présence de critères paramétriques et/ou comportementaux présentant un risque très faible de recouvrement interspécifique ; possible (taux d'erreur estimé entre 60 et 80 % ; présence de critères paramétriques et/ou comportementaux en recouvrement entre deux espèces ou plus, mais favorisant un peu plus l'une que les autres) ; nul (aucun critère susceptible de départager plusieurs espèces : *Myotis* sp., *Plecotus* sp., Sérotule, etc.). Parfois, un enregistrement ne présente pas les critères pour parvenir à une identification certaine, contrairement à un ou plusieurs fichiers contigus qui montrent, par l'horaire, la rythmique et la structure, qu'ils sont tous générés par le même individu ; un tel continuum permet alors d'attribuer le niveau certain à tous les fichiers. Ce type de configuration constitue un avantage quantitatif pour la méthode d'écologie acoustique, par rapport au logiciel Tadarida qui ne peut établir de lien entre les fichiers de 5 secondes successifs.

Tableau 2.
Liste des espèces françaises de Chiroptères classées par ordre croissant d'intensité d'émissions sonar, avec leur distance de détection (en mètres) et le coefficient de détectabilité qui en découle. Valeurs valables en contexte de milieux ouverts ou semi ouverts (d'après Barataud, 2026).

milieux ouvert et semi ouvert			
Intensité d'émission	**Espèces**	**Distance détection (m)**	**Coefficient détectabilité**
très faible à faible	*Rhinolophus hipposideros*	5	**5,00**
	Rhinolophus ferr/eur/meh.	10	**2,50**
	Myotis emarginatus	10	**2,50**
	Myotis alcathoe	10	**2,50**
	Myotis mystacinus	10	**2,50**
	Myotis brandtii	10	**2,50**
	Myotis daubentonii/capaccinii	15	**1,67**
	Myotis nattereri	15	**1,67**
	Myotis bechsteinii	15	**1,67**
	Barbastella barbastellus	15	**1,67**
moyenne	*Myotis oxygnathus*	20	**1,25**
	Myotis myotis	20	**1,25**
	Plecotus spp (durée 4 à 6 ms)	20	**1,25**
	Pipistrellus pygmaeus	25	**1,00**
	Pipistrellus pipistrellus	25	**1,00**
	Pipistrellus kuhlii	25	**1,00**
	Pipistrellus nathusii	25	**1,00**
	Miniopterus schreibersii	30	**0,83**
forte	*Hypsugo savii*	40	**0,63**
	Eptesicus serotinus	40	**0,63**
	Plecotus spp (durée > 6 ms)	40	**0,63**
très forte	*Eptesicus nilssonii*	50	**0,50**
	Eptesicus isabellinus	50	**0,50**
	Vespertilio murinus	50	**0,50**
	Nyctalus leisleri	80	**0,31**
	Nyctalus noctula	100	**0,25**
	Tadarida teniotis	150	**0,17**
	Nyctalus lasiopterus	150	**0,17**

Comparaison des relevés au stade de la collecte sur le terrain.

Seuls les enregistrements automatiques réalisés durant la tranche temporelle d'écoute active, étaient pris en compte, pour une concordance exacte des temps d'écoute entre Active et Passive Recorders. Tous les contacts (en actif comme en passif) sont identifiés et traités selon la méthode d'écologie acoustique : phase d'identification par un seul observateur (MB) combinant les critères auditifs, informatiques et comportementaux, pondération grâce aux coefficients d'intensité ; plusieurs individus de la même espèce évoluant en simultané sont comptabilisés comme autant de contacts.

Traitement automatique des fichiers sons (logiciel Tadarida)

Les enregistrements bruts analysés au préalable en manuel, sont ensuite soumis à une seconde phase d'analyse par le logiciel Tadarida (Traitement Automatisé des Données Acoustiques pour la Reconnaissance et l'Identification des Données des Animaux), conçu par le Muséum National d'Histoire Naturelle dans le cadre de son programme Vigie Chiro (Bas *et al.*, 2017). Ce double processus d'identification permet ensuite une comparaison des performances respectives des deux méthodes, manuelle *vs* automatique.

Tadarida est un logiciel gratuit, libre d'accès, de Surveillance Acoustique Passive (en anglais : Passive Acoustic Monitoring ou PAM). Il permet d'identifier les chauves-souris et les Orthoptères à l'aide de trois modules :

- Tadarida-D : permettant la détection sonore multi-taxons ;
- Tadarida-L : permettant l'étiquetage des résultats et d'obtenir une base de données ;
- Tadarida C : permettant de classer automatiquement les résultats.

Dans le cadre de cette étude, le protocole choisi est celui de type « point fixe ». Ce protocole permet l'enregistrements d'ultrasons pendant des nuits complètes. Cette plage d'écoute permet d'augmenter les chances de détection des espèces moins détectables et moins abondantes (Vigie-Nature (c), 2024).

Les grandes étapes suivies pour transmettre les données sont (Vigie-Nature (c), 2024) :

1) création des sites d'étude sur la plateforme Vigie Chiro ;
2) renommage des fichiers en suivant la nomenclature de Vigie Chiro grâce à l'outil Lupas Rename (open-source) ;
3) découpage des enregistrements en morceaux de 5 s, au format « .wav », à l'aide de l'outil Kaleidoscope (open-source) ;
4) compression des dossiers contenant les enregistrements pour accélérer leur envoi ;
5) création pour chaque nuit d'écoute d'une participation ;
6) exportation des résultats.

Pour l'étape 1, les points d'écoute n'ont pas été définis par la plateforme mais par les responsables de l'étude ; les sites n'ont donc pas été créés de façon aléatoire.

Comparaison des identifications, écologie acoustique *vs* Tadarida

Comparaison des résultats pour la partie identification.

Le nombre de fichiers (format wave, 5 secondes de durée ; 4 saisons de collecte entre 2023 et 2026, de mai à septembre) utilisés est de 50 460, issus de 38 stations sur 19 sites répartis sur les 4 secteurs d'études ; ces 50 460 fichiers ont donné lieu à 101 576 comparaisons entre les identifications de l'écologie acoustique et de Tadarida : il y a en effet

de très nombreux cas où un fichier ne contient qu'une espèce pour l'écologie acoustique, et deux taxons ou plus pour Tadarida (le surplus étant dans la plupart des cas confondu avec des éléments précis du bruit de fond), et ses fichiers à taxons multiples font l'objet d'analyses et de commentaires à part. Le fait que Tadarida attribue 1 contact (non pondéré) à chaque espèce apparaissant dans une séquence de 5 s sans tenir compte de la présence possible de plusieurs individus, nous a obligé à réduire la précision habituelle de la comptabilité en écologie acoustique : ainsi lorsqu'une espèce apparaît dans une séquence de 5 s, elle se voit attribuer la valeur 1 dans tous les cas (sans pondération par les coefficients d'intensité, sans tenir compte des cas où plusieurs individus de la même espèce sont présents). Pour comparer les résultats manuels *vs* automatiques, une association des identifications par titre de fichier est réalisée. Cela permet d'associer entre eux les résultats d'identification d'une même séquence acoustique. Un travail d'homogénéisation des titres de fichier est donc nécessaire, afin de garantir une bonne association des séquences. L'étude à l'origine des données se concentrant uniquement sur l'identification des espèces de Chiroptères, toutes les autres espèces (Orthoptères, Oiseaux, Amphibiens, Micro-mammifères) identifiées par Tadarida ont été affiliées à des bruits (code item : noise).

L'écologie acoustique ne prévoit pas de classe de confiance pour les bruits et un niveau « nul » pour les identifications n'allant pas jusqu'à l'espèce, alors que Tadarida attribue toujours une probabilité à son identification même si elle conclut à un bruit ou à une espèce non identifiée ; par souci d'homogénéisation des deux méthodes pour permettre une comparaison des résultats, les bruits et les identifications jusqu'au genre en écologie acoustique se sont vus attribuer un niveau de confiance « certain ».

Enfin, Tadarida inscrit quasi-systématiquement un bruit en plus de ses identifications d'espèces. Ce bruit superflu peut être un réel bruit de fond identifié (parasitage divers) ou une autre espèce (hors Chiroptères) devenue « bruit » par suite de l'homogénéisation avec l'écologie acoustique. C'est pourquoi, pour un enregistrement attribué à un taxon de Chiroptère en identification manuelle, les mentions supplémentaires de Tadarida légendées « bruit » en plus de l'espèce proposée, sont supprimées ; les identifications « bruit » de Tadarida sont conservées uniquement lorsqu'aucune espèce n'est proposée par Tadarida ou lorsque l'identification manuelle est elle-même « bruit ».

Comparaison des niveaux d'activité.

13 333 fichiers (formant un sous-ensemble des 50 460 séquences utilisées pour l'identification, en excluant les fichiers « bruit ») ont été pris en compte, provenant de 38 stations sur 19 sites et 4 secteurs d'études. Les différences entre les deux méthodes peuvent résulter des discordances dans l'identification, mais aussi de la précision du mode de comptabilité : en écologie acoustique plusieurs individus de la même espèce présents dans une même tranche de 5 s font autant de contacts, alors que Tadarida ne met pas en évidence cette particularité. Les coefficients de pondération (Tableau 2) ont été appliqués à tous les contacts issus des deux méthodes de traitement (comme le préconise l'écologie acoustique).

Résultats

La collecte des données : comparaison entre détections active et passive

La comparaison porte sur 64 heures d'écoutes actives et d'enregistrements automatiques en simultané (20 soirées de 3 h et 2 soirées de 2 h, à partir du crépuscule) effectuées en juin et juillet 2023 et entre mai et août 2024, sur 3 prairies (avec chacune une station au centre et une en lisière) sur le secteur du Plateau de Millevaches (commune de Gentioux - 23).

Le **Tableau 3** et la **Figure 5** montrent les résultats par espèce, tous habitats (centre de prairie et lisière) confondus, comparés entre les écoutes actives et les enregistrements automatiques.
Quinze espèces ont été contactées au total.

Tableau 3.
Liste des espèces contactées durant les 64 heures de pression d'écoutes simultanées, avec les nombres de contacts pondérés collectés respectivement par les observateurs en écoute active (AR = Active Recorder) et les enregistreurs automatiques (PR = Passive Recorder).

	AR	PR	PR-AR	PR-AR
Espèces	Contacts	Contacts	Valeur	%
P.kuhlii	1087	784,66	-302,3	-27,8%
P.pipistrellus	1036,3	703,95	-332,4	-32,1%
E.serotinus	236,89	210,08	-26,8	-11,3%
P.austriacus	115	91,25	-23,8	-20,7%
M.nattereri	69,1	48	-21,1	-30,5%
N.lasiopterus	43,69	27,39	-16,3	-37,3%
M.mystacinus	32,5	5	-27,5	-84,6%
B.barbastellus	22,1	22,1	0,0	0,0%
M.myotis	18,7	9,3	-9,4	-50,3%
M.brandtii	10	10	0,0	0,0%
M.daubentonii	10	2,5	-7,5	-75,0%
P.auritus	10		-10,0	-100,0%
R.hipposideros	10		-10,0	-100,0%
M.bechsteinii	5	2,5	-2,5	-50,0%
N.leisleri	0,93		-0,9	-100,0%
Total général	**2707,21**	**1916,73**	**-790,48**	**-29,2%**

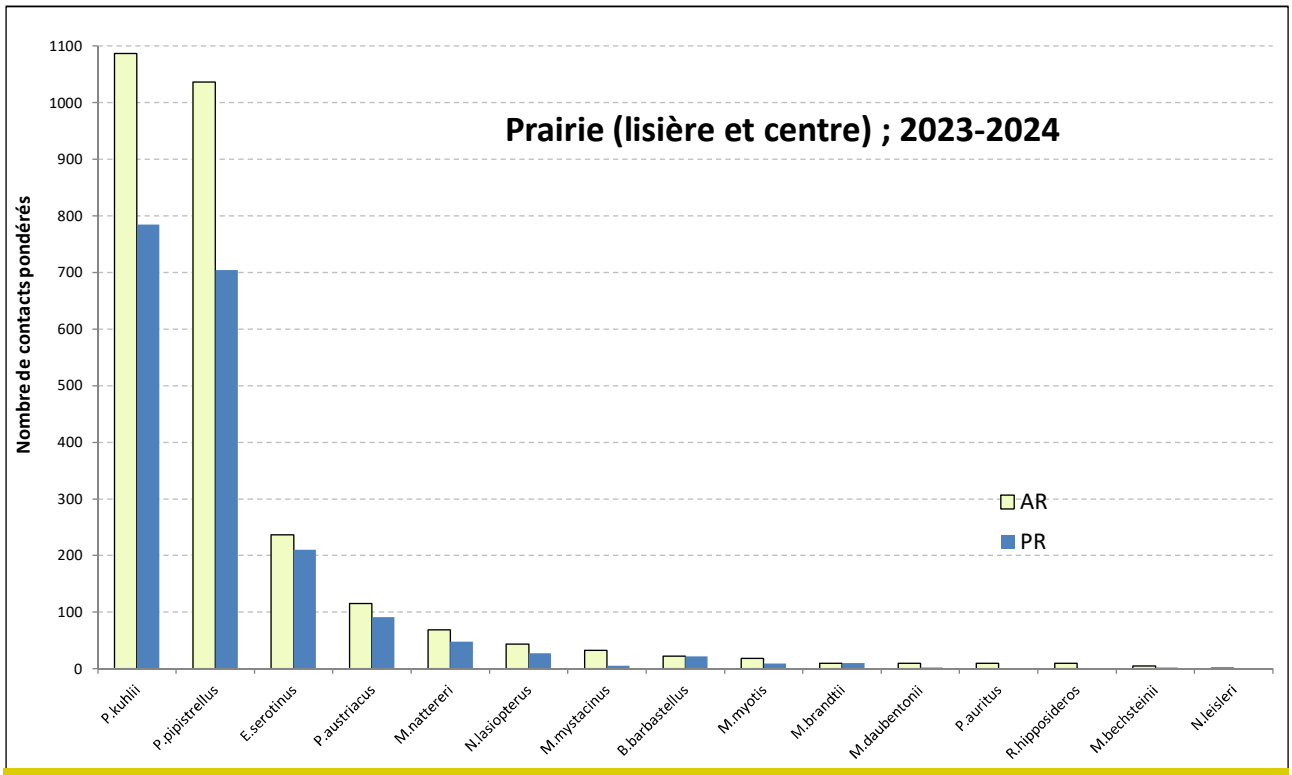


Figure 5.
Comparaison, pour chaque espèce, des nombres de contacts pondérés collectés durant les 64 h de pression d'écoutes simultanées, collectés respectivement par les observateurs en écoute active (AR = Active Recorder) et les enregistreurs automatiques (PR = Passive Recorder).

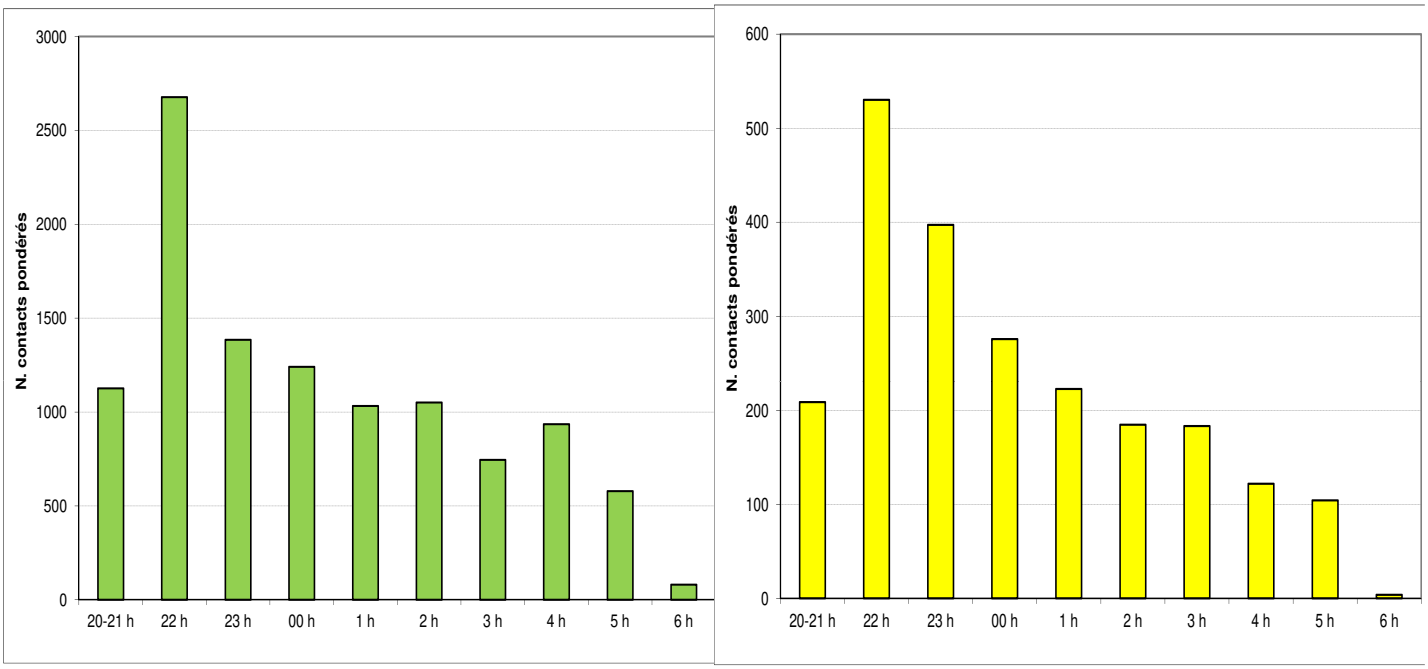
Les enregistreurs automatiques recueillent des valeurs moindres pour une majorité des espèces, seules *B. barbastellus* et *M. brandtii* ayant généré le même nombre de contacts entre les deux méthodes. Trois espèces n'ont pas été détectées par le Passive Recorder, toutes représentées que par quelques rares contacts : *P. auritus* et *R. hipposideros* (2 contacts bruts en actif) ; *N. leisleri* (3 contacts bruts en actif). Plusieurs espèces de *Myotis*, aux émissions sonar FM abrupte courtes et peu intenses, ont un taux d'omission en passif supérieur à la moyenne qui est de 29,2 %.

La collecte des données : répartition de l'activité sur une soirée ou une nuit complète

L'activité des Chiroptères tout au long de la nuit, mesurée grâce aux Passive Recorders, a été répartie heure par heure sur trois sites du secteur de Millevaches étudiés du 20 mai au 20 septembre, et totalisant 72 nuits : 36 en centre de prairie et 36 en lisière (**Figures 6a et 6b**).

Le maximum d'activité n'est atteint que très progressivement à partir du crépuscule, puis l'activité décroit jusqu'à l'aube où les derniers contacts peuvent être en pleine lumière le long des lisières. Les quatre premières heures concentrent plus d'activité que le reste de la nuit, avec une légère différence entre la lisière (59,2 %) et le centre de prairie (63,3 %). La phénologie de l'activité est très similaire pour les deux écotones malgré leur différence forte de niveau d'activité : le pic est atteint 1 à 2 h après le premier contact puis on observe une décroissance assez régulière jusqu'à l'aube.

Ainsi, lorsqu'un observateur effectue des relevés en actif, qui généralement s'étendent sur les 4 premières heures à partir du crépuscule, il collecte environ 60 % des contacts de la nuit complète alors qu'il ne travaille que sur 35 à 50 % (selon la saison) du temps total couvert par un enregistreur automatique.



Figures 6a et 6b.
Evolution de l'activité (en nombre de contacts pondérés) par tranches horaires tout au long de la nuit (22h = tranche de 22 à 23h, etc. ; les tranches de 20 h et 21 h sont compilées car souvent incomplètes selon la saison), en lisière (à gauche) et en centre de prairie (à droite), sur les trois sites de Lachaud (Gentioux ; secteur Millevaches) en 2023 et 2024.

La collecte des données : influence de l'habitat et/ ou de la qualité auditive de l'observateur

Les résultats montrent une différence nette entre les deux observateurs, l'un (avec une bonne audition jusque dans les hautes fréquences) étant à l'écoute en centre de prairie, et l'autre (présentant une hypoacousie progressive pour les fréquences > 5 kHz) en lisière.

En centre de prairie, l'écoute en hétérodyne met en évidence 35,3 % de contacts supplémentaires par rapport à l'enregistreur passif, ce surplus concernant toutes les espèces (n = 12) à l'exception de *M. brandtii* dont l'unique contact a été capté de part et d'autre. En lisière le rapport est toujours en faveur de l'écoute active mais avec un différentiel moindre (28 %), concernant 10 espèces sur les 14 : *M. brandtii* (3 contacts) est capté de façon équitable de part et d'autre, tandis que 3 espèces sont plus contactées par l'enregistreur passif (*P. austriacus* avec +8,5 %, *B. barbastellus* avec +30 %, *N. lasiopterus* avec +48,2 %).

L'analyse des données : identification du bruit de fond et des taxons de Chiroptères

Classification tous indices de confiance confondus

L'analyse en manuel des 50 460 fichiers sons issus d'enregistrements passifs, a classé 78,3 % d'entre eux en bruit ; le restant se répartit en 27 espèces, dont *P. pipistrellus* représente à elle seule 40,6 % des séquences de Chiroptères.

Ces mêmes fichiers, soumis à l'analyse automatique par Tadarida, occasionnent un nombre de comparaisons (101 576) plus de deux fois supérieur au nombre de fichiers, car Tadarida identifie souvent plusieurs espèces là où l'écologie acoustique n'en trouve qu'une seule. L'ensemble des comparaisons montre un taux de concordance avec les résultats de l'analyse par l'écologie acoustique, très variable selon les taxons (**Figure 7**).

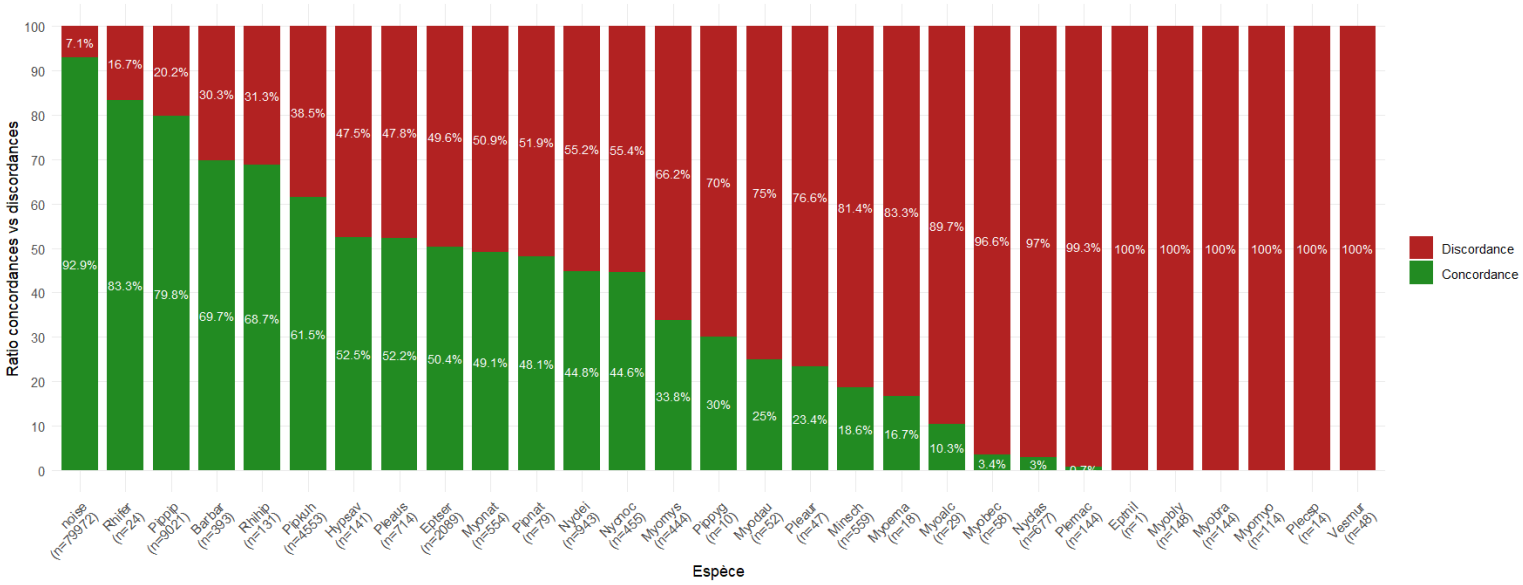


Figure 7.
Proportion, pour chaque item (bruit et taxons), des concordances (en vert) et des discordances (en rouge) des identifications réalisées en automatique (Tadarida), en regard des identifications en manuel (écologie acoustique). Les valeurs entre parenthèses en abscisses indiquent le nombre de comparaisons de fichiers de 5 secondes (= contacts bruts selon Tadarida) identifiés comme tel par l'analyse manuelle, tous niveaux de confiance confondus ; ainsi, pour *P. pipistrellus* par exemple, 79,8 % des 9021 comparaisons attribuées à cette espèce par l'écologie acoustique, ont obtenu la même conclusion par Tadarida, etc.

Les fichiers ne contenant que du bruit sont concordants à 92,9 %. Concernant les 7,1 % de discordances, Tadarida en attribue 90,2 % aux genres *Pipistrellus* (71,6 %) et *Rhinolophus* (18,6 %). Sur les 5261 séquences légendées « bruit » en manuel et auxquelles Tadarida attribue au moins une espèce de Chiroptère, nous avons opéré une vérification sur un échantillon de 300 séquences sélectionnées sur les 4 secteurs d'étude, qui montre que 30,3 % contenaient effectivement des signaux de Chiroptères (*P. pipistrellus* dans 87 % des cas) masqués dans le bruit de fond et passés inaperçus lors de l'analyse manuelle.

Deux espèces (*R. ferrumequinum* et *P. pipistrellus*) sont concordantes aux alentours de 80 %, et 2 autres (*B. barbastellus* et *R. hipposideros*) à près de 70 % ; *P. kuhlii* est à 61,5 % de concordance ; puis, parmi les 22 espèces restantes, 5 sont concordantes environ dans la moitié des cas, les autres ne l'étant que dans une minorité de cas et 5 n'étant pas identifiées par le logiciel.

La **Figure 8** présente le détail des concordances et discordances des résultats de Tadarida en regard de ceux de l'écologie acoustique, tous niveaux de confiance confondus (le détail par niveau de confiance de l'écologie acoustique est reporté dans les **Annexes 1 à 3**).

Seule la reconnaissance des bruits dépasse les 90 % de concordance, et aucune espèce ne dépasse 85 % de concordance. Cinq espèces ont un taux situé entre 60 et 84 % ; trois espèces identifiées par Tadarida n'ont pas été retenues par l'analyse manuelle, dont deux (*M. capaccinii* et *T. teniotis*) sont absentes de la zone géographique considérée ; 42 % des contacts identifiés en *N. lasiopterus* par l'écologie acoustique, sont classés en bruit par Tadarida.

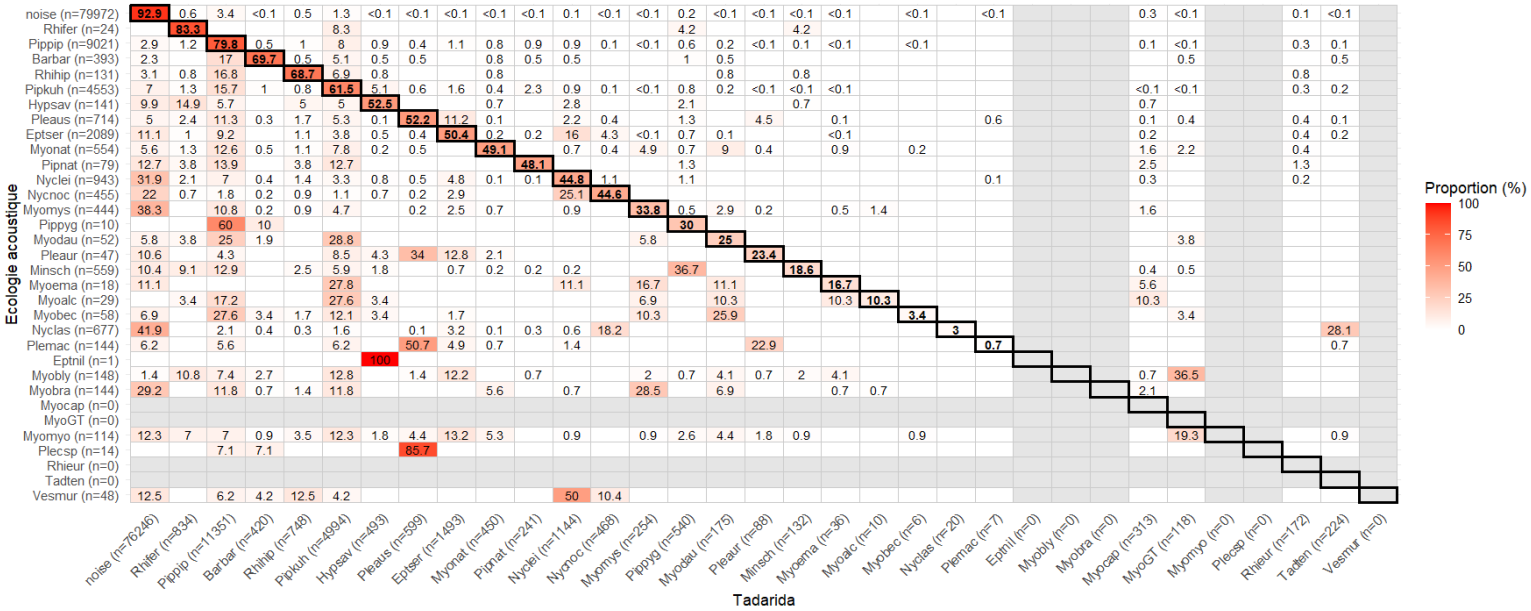


Figure 8.
Matrice de confusion avec les identifications manuelles, tous niveaux de confiance (certain, probable, possible). Les items (bruit et taxons) sont déclinés de façon symétrique entre les ordonnées (écologie acoustique) et les abscisses (Tadarida), avec entre parenthèses le nombre de comparaisons de fichiers identifiés comme tel (quel que soit le niveau de confiance) par chacune des deux méthodes. L'entrée de lecture est horizontale ; par exemple : sur les 9021 comparaisons attribuées à *P. pipistrellus* par l'écologie acoustique, Tadarida a conclu la même chose (concordance) pour 79,8 % d'entre elles (cellule en confluence symétrique encadrée de noir), et pour le reste 2,9 % ont été classées en bruit, 1,2 % en *R. ferrumequinum*, 0,5 % en *B. barbastellus*, etc. La lecture peut aussi être verticale : par exemple, Tadarida a classé en *P. pipistrellus* 3,4 % des comparaisons classées en bruit par l'écologie acoustique, 17 % des comparaisons classées en *B. barbastellus* par l'écologie acoustique, etc. Les lignes grisées sont des taxons non trouvés par l'analyse manuelle (*M. capaccinii* et *T. teniotis* sont des espèces absentes de la région d'étude ; *R. euryale* est présent localement mais aucune séquence n'a révélé cette espèce lors de l'analyse manuelle ; les *Myotis* de grande taille - MyoGT selon le code de Tadarida - ont été identifiés jusqu'à l'espèce) ; les colonnes grisées sont des taxons identifiés en écologie acoustique et non trouvés par Tadarida.

Les nombreux cas où un fichier ne contenant qu'une seule espèce occasionne l'identification de plusieurs taxons par Tadarida, nous ont amené à effectuer une analyse différenciée. En effet, seulement 15,9 % des identifications effectuées par Tadarida sont des identifications simples (un seul item, espèce de Chiroptère ou bruit, pour une séquence), contre 95,2 % pour l'écologie acoustique. Tadarida renvoie donc quasi systématiquement plusieurs identifications pour une même séquence. Un contrôle manuel, effectué sur 303 séquences représentatives de tous les cas de figures où Tadarida conclut, dans une séquence, à une ou plusieurs espèces supplémentaires par rapport à l'écologie acoustique, montre que le logiciel a raison dans 3,6 % des cas ; pour les cas restants, les causes de confusion sont principalement : des bruits parasites générés par l'environnement ou le microphone (confondus avec des Pipistrelles ou des Murins) ; des signaux FM d'approche de *P. kuhlii* (confondus avec des signaux de *P. pipistrellus*) ; le type B de *B. barbastellus* confondu avec des signaux de *P. pipistrellus* ; des cris sociaux (confondus avec des signaux sonar d'une autre espèce) ; des phases de capture de Pipistrelles (confondues avec des signaux sonar de *M. nattereri*).

Tableau 4.
Nombre de comparaisons de séquences (celles avec bruit comprises) et taux de discordances d'identification de Tadarida, pour chaque niveau de confiance utilisé en écologie acoustique. Le faible taux de discordances pour le niveau «certain» est dû à la prédominance des fichiers «bruit» et de *P. pipistrellus*.

Niveaux de confiance (écologie acoustique)	N. comp. séq. selon niveaux de confiance (écologie acoustique)	N. discordances Tadarida	Taux discordances Tadarida
certain	100327	13167	13,1 %
probable	1233	944	76,6 %
possible	16	13	81,2 %

Classification par indices de confiance

Les deux méthodes n'utilisent pas les mêmes indices de confiance : l'écologie acoustique utilise 4 niveaux (certain, probable, possible, nul ; voir Méthode et Matériel) ; Tadarida utilise des centiles, compris entre 0 et 1. Notre comparaison met en regard les concordances des résultats de Tadarida pour chacun des niveaux de confiance de l'écologie acoustique. Les discordances entre les résultats des deux méthodes suivent la logique attendue : plus le niveau de confiance est fort en écologie acoustique, plus le taux de discordances avec Tadarida est faible, et inversement (**Tableau 4**).

La **Figure 9** présente, pour chaque item, les taux de concordances entre les identifications de Tadarida ventilées par tranches de probabilité, et les identifications de l'écologie acoustique classées en niveau « certain » (les mêmes figures pour les niveaux « probable » et « possible » sont en **Annexes 4 et 5**). Pour ce qui concerne la classification des bruits, le taux de concordance dépasse 80 % dès le niveau 0,1 de Tadarida, et dépasse 95 % dès le niveau 0,5. Quatre espèces (*R. ferrumequinum, B. barbastellus, R. hipposideros, N. leisleri*) ont des taux de concordance supérieur à 75 % uniquement à partir d'une probabilité de Tadarida supérieure à 0,9 ; les taux chutant drastiquement (< 40 %) juste en dessous de ce seuil. Pour *P. pipistrellus* c'est à partir du seuil de 0,8 que le taux dépasse les 75 %. Pour trois espèces (*M. daubentonii, P. nathusii* et *P. auritus*) le taux de concordance > 75 % ne présente pas de cohérence : sa distribution ne s'inscrit pas dans une progression tout au long des indices de probabilité, indiquant un succès plus ou moins aléatoire. Neuf espèces ont un taux de concordance entre 50 et 75 %, ceci dès l'indice 0,3 pour *P. kuhlii*. Enfin 12 espèces ont un taux de

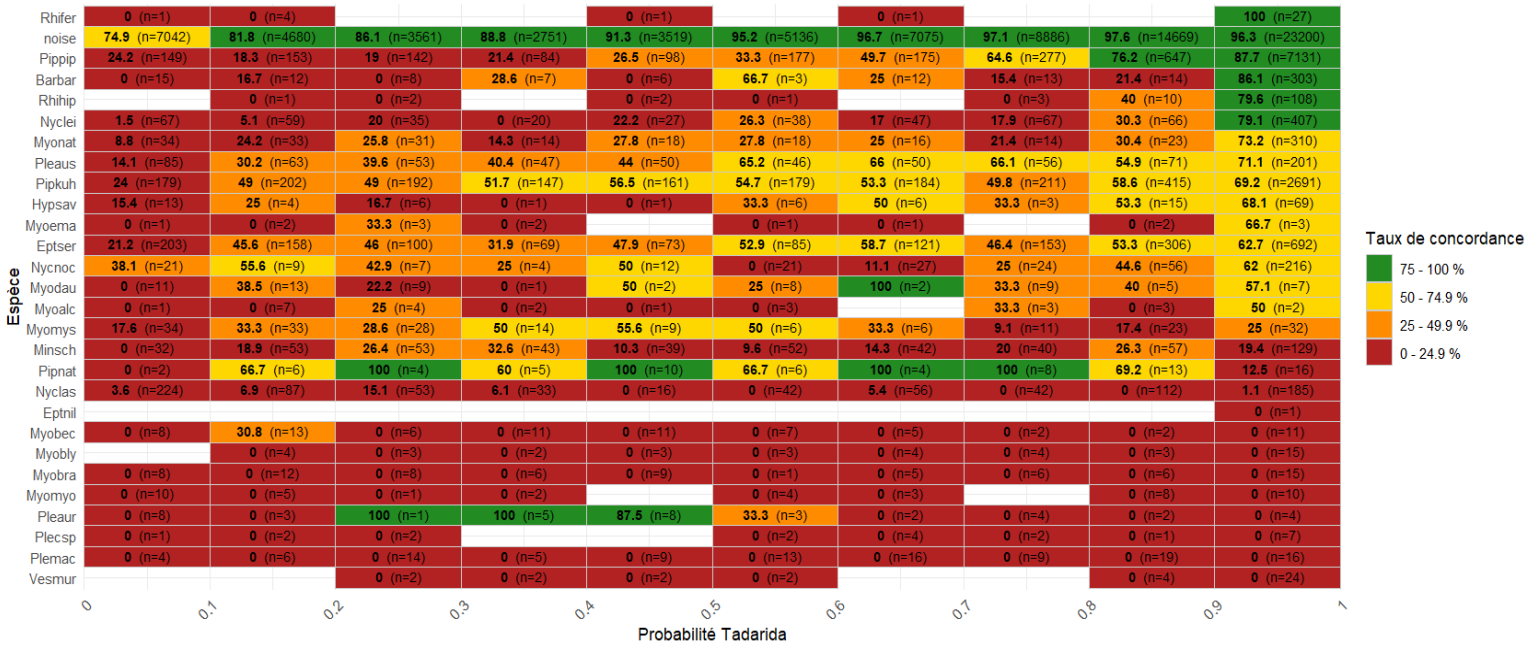


Figure 9.
Concordances (avec un jeu de couleur indiquant les classes de 25 %) des identifications pour chaque item (bruit et taxons, classés de haut en bas par ordre décroissant de taux de concordance) entre l'écologie acoustique (données avec niveau de confiance « certain ») et Tadarida (par classes de probabilité, de moins de 0,1 à plus de 0,9). L'entrée de lecture est horizontale ; par exemple, ligne 3, colonne 1 : sur 149 comparaisons de séquences identifiées comme *P. pipistrellus* par l'écologie acoustique, Tadarida en a attribué 24,2 % à cette espèce avec une probabilité inférieure à 0,1 (75,8 % ont donc été attribués à d'autres taxons) ; etc. Les cas pour lesquels Tadarida ne montre que des discordances ont donc des taux = 0 ; par exemple : l'unique séquence identifiée par l'écologie acoustique comme *E. nilssonii*, a été identifiée par Tadarida (prob. > 0,9) comme une autre espèce (*H. savii*, voir Figure 8).

concordance < 50 % (dont 11 < 25 %) même avec un indice > 0,9.

L'analyse des données : cohérence de l'identification des doublons

Un lot de 77 séquences (3-4 séquences pour chacune des 27 espèces identifiées en écologie acoustique – à l'exception d'*E. nilssonii* pour laquelle 1 séquence unique a été collectée dans le cadre de cette étude) a été soumis de manière répétitive (2 passages) au logiciel Tadarida. Ce dernier a été systématiquement cohérent dans ses identifications entre les deux sessions d'envoi. Les mêmes nombres d'identifications sont observés, avec les mêmes concordances et discordances face aux identifications manuelles, et les mêmes indices de confiance.

L'analyse des données : comptabilité de l'activité

Les discordances dans l'identification des espèces entre les deux méthodes ont aussi des répercussions sur le calcul de l'activité.

À ce titre, il est important d'avoir à l'esprit l'absence de liaison directe qu'il peut y avoir dans l'interprétation des résultats de l'identification et ceux de l'activité, lorsque les discordances d'identification sont nombreuses : par exemple dans cette étude, une espèce comme *M. mystacinus* comptabilise 555 contacts en écologie acoustique et 522,5 contacts avec Tadarida ; la différence d'activité n'est donc que de 5,9 % alors que cette espèce occasionne 66,2 % de discordance d'identification entre les deux méthodes ; ce faux paradoxe a pour

origine le « hasard » des discordances de Tadarida, qui l'amènent à classer, parmi les 444 séquences identifiées par l'écologie acoustique en *M. mystacinus*, 38,3 % en bruit, 10,8 % en *P. pipistrellus*, etc., et à nommer *M. mystacinus* des séquences d'autres *Myotis* principalement (voir **Figure 8**). Ceci valant pour ce contexte particulier d'enregistrements. Car dans un autre contexte, il est probable que la différence de nombres de contacts entre les deux méthodes ne serait pas la même (des qualités de signaux différentes, ou d'autres types acoustiques pratiqués par chaque espèce, un bruit de fond d'intensité et/ou de nature différentes… peuvent induire d'autres conclusions par Tadarida), ce qui fait de cet exercice de comparaison un exemple illustrant une variabilité sans doute toujours présente, mais à l'amplitude imprédictible.

La **Figure 10** détaille, pour chaque taxon, les nombres de contacts pondérés résultant des identifications et de la méthode de comptabilité en écologie acoustique *versus* Tadarida pour le lot de 13 333 fichiers soumis à comparaison.
Les séquences de 5 s contenant plus d'un individu (le plus souvent 2, parfois 3) d'une même espèce majorent, pour l'écologie acoustique, l'activité de 1517 contacts bruts (10,1 % du total qui est de 15032), dont 796 pour *P. pipistrellus*, 314 pour *P. kuhlii* et 108 pour *E. serotinus* ; cela représente 1452,15 contacts pondérés sur un total de 15495,6 (9,4 %).
Concernant les groupes d'espèces :

- pour les Murins de grande taille, l'écologie acoustique comptabilise 168,7 contacts pour *M. myotis/blythii* et Tadarida 86,25 contacts pour MyoGT (-48,9 %) ;
- pour les Murins de petite taille, les écarts sont très élevés d'une espèce à l'autre (certaines n'étant pas identifiées par Tadarida, qui par ailleurs identifie *M. capaccinii* alors qu'il est absent de la zone) ; par exemple, *M. alcathoe* et *M. bechsteinii* sont sous-estimés (respectivement -58,3 % et -84,6 %) alors que *M. daubentonii* et *M. emarginatus* sont surestimés (respectivement +318,5 % et +27,1 %). Au total, on observe un certain rééquilibrage par le fait du « hasard » des discordances, l'écologie acoustique comptabilisant 1897,07 contacts pour 7 espèces et Tadarida 1472,37 contacts (-22,4 %) pour 7 espèces (Myobra en moins, Myocap en plus) ;
- pour le genre *Plecotus*, l'écologie acoustique comptabilise 862,5 contacts et Tadarida 730 contacts (-15,4 %) ;
- pour le genre *Rhinolophus*, l'écologie acoustique comptabilise 446,5 contacts de 2 espèces et Tadarida 1722,5 contacts (+285,8 %) de 3 espèces (Rhieur en plus).

Hormis les espèces non identifiées par l'une des deux méthodes, les différences les plus élevées se rencontrent pour *P. pygmaeus, H. savii, N. leisleri, P. nathusii* (surestimation de Tadarida) et *N. lasiopterus* (sous-estimation de Tadarida). Les différences sont plus réduites pour les 2 espèces les plus actives, qui influencent donc majoritairement l'activité totale : le déficit imputable à Tadarida est de 25 contacts (-0,15 %) pour *P. pipistrellus*, et de 135 contacts (-4,2 %) pour *P. kuhlii* (malgré un taux de discordance de 38,5 %). Si l'on calcule la différence toutes espèces confondues, l'écologie acoustique comptabilise 15495,6 contacts et Tadarida 16396,1 contacts (+5,8 %) ; une différence donc faible, masquant de grandes différences dans le détail, et soumise à l'influence du « hasard » des discordances.

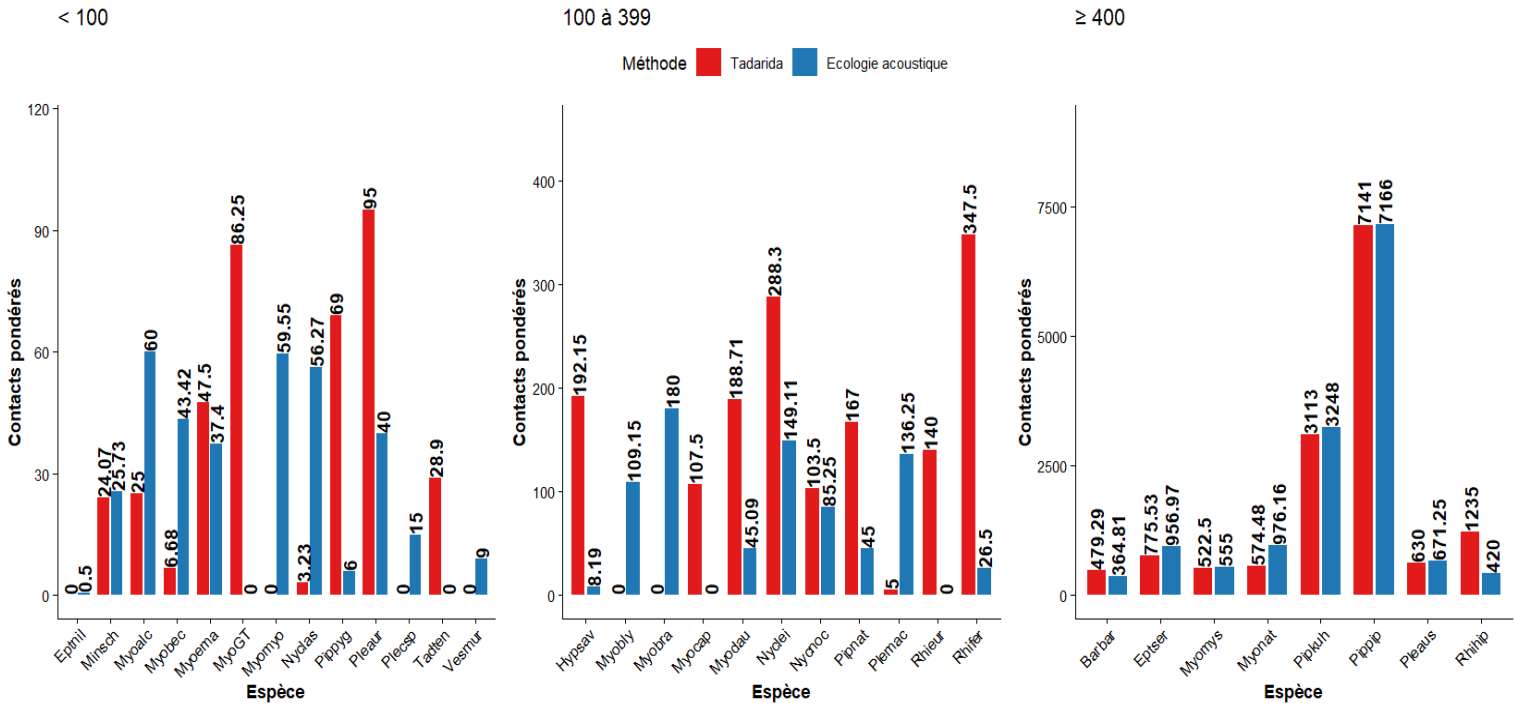


Figure 10.
Comparaison des niveaux d'activité entre les deux méthodes, découlant des différences dans l'identification des taxons. L'activité de chaque espèce est exprimée en nombre de contacts (n. de fichiers avec présence de signaux) pondérés (coefficient d'intensité de l'écologie acoustique). Les taxons (listés par ordre alphabétique) sont ventilés en trois groupes selon le nombre de contacts, pour mieux visualiser les différences.

Discussion

La collecte des données : comparaison entre détections active et passive

Les contacts détectés en hétérodyne (Active Recorder) et non enregistrés en automatique (Passive Recorder) correspondent pour la plupart à des signaux faibles (espèces à faible intensité d'émission, et/ou individus éloignés), souvent noyés dans un bruit de fond continu dont le niveau d'intensité est proche de celui des signaux de Chiroptères, et sans élément saillant susceptible de générer un enregistrement automatique par défaut (dû au bruit de fond). À ce titre, le pouvoir séparateur de l'audition humaine entraînée à la reconnaissance d'« images de recherche sonore » (par leurs sonorités, structure, rythmique…), semble se montrer plus performant que les filtres de déclenchement automatiques même lorsqu'ils sont paramétrés pour une sensibilité optimale aux sons de Chiroptères. La solution, en automatique, pourrait être de fonctionner en enregistrement continu, avec l'inconvénient de générer encore plus de fichiers à trier, ce qui est généralement jugé peu rentable par les collecteurs.

La technique d'écoute active utilise le système hétérodyne pour transmettre en direct les informations sonores. Un observateur expérimenté discerne assez facilement un train de signaux de Chiroptère des différents bruits qui composent le bruit de fond habituel. L'hétérodyne est par contre sensible sur une bande de fréquences limitée à 10 kHz en théorie (des phénomènes d'harmoniques ou de résonance peuvent cependant restituer des sons situés en dehors de

cette bande, mais en plus assourdi), ce qui oblige l'observateur à balayer la bande beaucoup plus large utilisée par le cortège d'espèces attendues, de 15 kHz pour *N. lasiopterus* à 55 kHz pour *P. pygmaeus* ; les Rhinolophes, dont l'intensité maximale est sur leur premier harmonique entre 80 et 110 kHz, peuvent cependant être captés sur leur fondamental mais cela réduit la distance de perception par le détecteur. Ainsi la faiblesse de l'hétérodyne porte majoritairement sur les signaux très hauts (Rhinolophes) ou très bas (*T. teniotis* et *N. lasiopterus*) lorsqu'ils sont suffisamment faibles pour rendre respectivement le fondamental ou les harmoniques inaudibles. En effet, plusieurs contacts de *N. lasiopterus*, très présente sur les sites d'écoute, ont été manqués par les observateurs occupés par ailleurs à comptabiliser des Chiroptères sur des gammes de fréquences plus élevées, alors qu'ils ont été révélés par le Passive Recorder qui a l'avantage de travailler en même temps sur toute la bande passante. Mais ce dernier ayant plusieurs fois sous-estimé la durée des séquences qui s'étalent couramment sur plus de 5 secondes avec un début et une fin toujours plus faibles, il affiche malgré tout un déficit de contacts. De façon surprenante en apparence, les deux occurrences de R. *hipposideros* sont le fait de l'Active Recorder : par chance l'observateur a pu percevoir la partie terminale FM du fondamental, alors que le Passive Recorder n'a pas déclenché, sans doute à cause d'une intensité trop faible en termes de rapport signal/bruit ; en effet, à 384 kHz de fréquence d'échantillonnage, chaque point de détection demande une durée de 0,67 ms qui émerge du bruit de fond, et une FM très courte et de faible intensité peut ne pas suffire à un déclenchement automatique, alors que l'oreille peut parfois la sortir du bruit de fond, notamment grâce à sa répétition avec une rythmique typique d'un Chiroptère. La même chose a dû se produire pour des contacts de Murins, bien audibles en hétérodyne et bien visibles sur spectrogramme, mais noyés dans le bruit de fond continu selon les critères de déclenchement automatique.

Comme le montrent ces résultats, ces cas de figures peuvent occasionner une réduction de la liste des espèces dans un inventaire passif. Le manque de mise en évidence d'une espèce peut aussi être le fait de l'écoute active, mais elle est moins fréquente (4 cas sur 16 soirées, contre 11 cas pour le PR) et concerne *N. lasiopterus* dans 2 cas sur les 4, pour les raisons exposées plus haut.
La technique d'écoute en direct grâce à la division de fréquence, qui équipe depuis peu les Active Recorder, peut être une solution qui améliore la détection des espèces situées sur les basses et hautes fréquences, car cette technique restitue tout évènement sonore quelle que soit sa fréquence (mais elle offre par contre une qualité sonore très pauvre, inapte à l'identification). Lors de nos études précédentes en milieu forestier (Barataud *et al.*, 2016 ; Barataud & Giosa, 2021), l'usage des détecteurs Pettersson D1000X permettait une double écoute avec la division de fréquence dans une oreille (pour alerter sur un signal excentré en fréquence) et l'hétérodyne dans l'autre (pour une meilleure analyse auditive des signaux) ; ce dispositif rendait l'écoute active encore plus performante. Sa transposition en milieu prairial serait possible, mais uniquement en période printanière avant le développement des Ensifères (Grillons et surtout Sauterelles), car leurs stridulations souvent intenses et permanentes font de l'écoute en division de fréquence une épreuve douloureuse voire insupportable.

Le bruit de fond intense dû aux stridulations de Sauterelles a des incidences plus ou moins drastiques sur les deux techniques de relevés : actif et passif.

En prairie comme en lisière, les stridulations de Sauterelles (les espèces les plus actives sur nos sites étant *Tettigonia viridissima, Roeseliana roeselii, Platycleis albopunctata, Tesselana tesselata, Leptophyes punctatissima* ; voir Barataud J., 2026 pour les caractéristiques de leurs stridulations) sont nombreuses à partir de début juillet sur le Plateau de Millevaches vers 800 m d'altitude. Elles occasionnent un bruit de fond intense et quasi permanent, déclencheur de très nombreux enregistrements automatiques ; ainsi les contacts faibles de Chiroptères ne déclenchant pas d'enregistrement en situation de bruit de fond normal, sont alors enregistrés par défaut (ce phénomène est démontré par le fait qu'en présence de stridulations de Sauterelles, les signaux de Chiroptères apparaissent le plus souvent en milieu ou en fin de séquence : lorsqu'ils sont responsables du déclenchement ils sont toujours en début de séquence). Pour peu que les signaux de Chiroptères soient décelables dans le bruit de fond des Sauterelles, ces dernières peuvent donc limiter la perte par l'enregistreur passif de contacts de Chiroptères, par rapport à l'écoute active.

Par exemple, sur le site de l'Epine (Gentioux – 23), les relevés avant fauche ont été effectués les 27 et 28 juin 2023, période à laquelle les Sauterelles ne sont pas à leur maximum d'abondance ; la sous-estimation des contacts de Chiroptères par le Passive Recorder par rapport à l'Active Recorder est alors élevée (-39 % en centre de prairie et -50 % en lisière). Les relevés juste après fauche ont eu lieu les 13 et 14 juillet ; la lisière devient alors très riche en stridulations de Sauterelles (effet refuge ?), alors que ces dernières semblent avoir déserté le centre de prairie ; la sous-estimation des contacts de Chiroptères par le Passive Recorder s'élève à -58 % en centre et tombe à -19 % en lisière grâce aux enregistrements par défaut dus aux stridulations quasi continues. Sur un autre site proche (Café ; Gentioux), les 4 nuits d'enregistrements ont été réalisées un peu plus tardivement, entre le 6 et le 20 juillet 2023 ; les Sauterelles sont alors bien actives. Mais la configuration est relativement inversée : après fauche, les stridulations d'Orthoptères augmentent en centre de prairie alors que la lisière conserve le niveau d'avant fauche. Or, on constate que la sous-estimation des contacts de Chiroptères par le Passive Recorder, qui est similaire entre centre et lisière avant fauche (respectivement -42 % et -40 %), montre une disparité après fauche (respectivement -29 % et -39 %). Ces deux exemples illustrent les constatations récurrentes lors de l'analyse des séquences : les enregistreurs automatiques prennent mieux en compte les séquences de Chiroptères, par défaut, en présence d'un bruit de fond générateur de déclenchements (certaines nuits très riches en chants de Sauterelles génèrent près de 6000 séquences de 5 secondes, ce qui équivaut à un enregistrement continu, pour quelques centaines de fichiers avec Chiroptères seulement).

Bien que ce bilan soit défavorable à l'enregistrement automatique, il est pourtant des circonstances où le passif révèle des contacts manqués par l'écoute active. Car il arrive qu'une activité de stridulations d'Orthoptères trop intense dans les basses et moyennes fréquences (15 à 25 kHz) soit trop douloureuse pour l'observateur en écoute hétérodyne, qui hésite alors à visiter régulièrement cette gamme utilisée par plusieurs espèces (*Plecotus, Eptesicus, Nyctalus*

spp., *V. murinus*) dont les passages éventuels passeront inaperçus, alors que la visualisation des enregistrements automatiques sur spectrogramme les font parfois apparaître, lorsque le haut des signaux émerge de la bande de saturation des Orthoptères. En conclusion, une saturation trop intense des stridulations d'Orthoptères occasionne certainement une perte d'informations sur l'activité des Chiroptères quelle que soit la technique utilisée, mais cette perte reste moindre en écoute active.

Nous pouvons, grâce aux résultats obtenus dans cette étude, esquisser une synthèse des avantages et inconvénients respectifs des deux méthodes de collecte, avec quelques éléments chiffrés :

- une écoute limitée aux 4 premières heures de la nuit représente, d'un point de vue purement quantitatif, 50 à 80 % (selon le contexte : habitat, saison…) des contacts recueillis sur une nuit complète ; ainsi l'écoute active, en ne travaillant que sur 30 à 50 % de la durée, collecte en moyenne 60-70 % de l'information comptable ;
- d'un point de vue qualitatif, une écoute active limitée aux premières heures de la nuit n'empêche pas de mettre en évidence une liste d'espèces identique à celle résultant de nuits complètes en enregistrement passif, car sauf exception (contact unique d'une espèce avant l'aube par exemple) toutes les espèces montrent un maximum d'activité durant les 3-4 premières heures ;
- sur une durée équivalente (ce qui n'est jamais le cas, les enregistreurs passifs travaillant toujours toute la nuit), ces 4 h passées sur le terrain en actif sont plus efficaces qu'un enregistrement passif, avec en moyenne 29 % de contacts en plus dans le contexte de cette étude. Cette proportion peut être supérieure (+ 40 à 50 %) au printemps, en l'absence des enregistrements par défaut du Passive Recorder provoqués par les Orthoptères ; cette perte par l'enregistrement passif peut concerner quelques contacts exclusifs d'une ou plusieurs espèces, ce qui donne, dans ce cas, une efficacité supérieure sur le plan qualitatif à l'inventaire actif ;
- les heures consacrées à l'écoute active sont mises à profit bien sûr pour la collecte des données, mais aussi pour une bonne partie de leur traitement. En effet, généralement plus de 80 % des contacts (la variation autour de cette moyenne est liée au niveau d'expérience de l'observateur et à la proportion des espèces facilement identifiables en direct) sont identifiés immédiatement de façon certaine grâce à l'hétérodyne, et ne nécessitent pas d'enregistrement pour vérification ; la comptabilité de ces contacts et leur classement en type d'activité sont également réalisés en direct (Barataud, 2020). Le nombre de séquences à analyser informatiquement est donc fortement réduit, ce qui rend facile leur traitement manuel. Ainsi, pour un simple inventaire ponctuel, le temps total de sollicitation humaine est généralement moindre en actif, avec un temps de séjour sur le terrain généralement supérieur au temps de travail au bureau (ce qui constitue un avantage ou un inconvénient selon les personnes et les situations). En actif, pour 3-4 h de relevés de terrain il faut ajouter : 1 à 2 h d'analyse et de saisie informatique ; un trajet aller-retour sur le site d'écoute. En passif, il faut compter le temps : de pose sur site puis d'enlèvement de l'enregistreur (donc deux trajets aller-retour sur le site d'écoute) ; de transfert des fichiers sur ordinateur et de manipulation des

logiciels de traitement automatique (tri, identification) ; de lecture critique des résultats ; de vérification auditive et informatique de lots de séquences pour lesquelles l'identification automatique donne un résultat peu commun, suspect, ou un indice de confiance jugé faible. Pour des protocoles complexes impliquant des temps de collecte plus élevés (nuits complètes sur plusieurs mois, ce bilan temporel entre actif et passif bascule clairement à l'avantage du second ;

- le fait d'entendre au préalable en hétérodyne, des séquences que l'on enregistre en expansion de temps car correspondant à des complexes acoustiques (*Myotis*, Sérotules), apporte des critères souvent déterminants lors de la phase d'identification : la rythmique, la chronologie, le contexte sont des éléments précieux qu'une écoute en direct sur le terrain optimise ;
- outre l'avantage de pouvoir opérer sur la nuit complète sans effort humain supplémentaire (seul moyen de connaître la phénologie de l'activité nocturne), l'enregistreur passif peut opérer dans tous les milieux (ingrats en niveau d'activité, infestés de moustiques, humainement mal fréquentés…), par tous les temps en toute saison, sur des périodes longues, à raison d'autant de points d'écoute que l'on dispose d'enregistreurs, le tout pouvant être géré par une seule personne. Ainsi certains contextes d'étude seraient impossibles à inventorier en actif, sauf à requérir une mobilisation humaine outrancière ;
- en actif, le fait de réaliser beaucoup moins d'enregistrements qu'en passif, pour les espèces faciles à identifier en direct dans de nombreux cas (*Pipistrellus, Nyctalus, Barbastella, Rhinolophus, Tadarida*…), hypothèque les chances de mettre en évidence des comportements acoustiques inhabituels (cri social particulier associé aux signaux sonar, structure de signal sonar atypique…) ; l'habitude sur le terrain de limiter les enregistrements en expansion de temps au strict nécessaire, peut donc entraîner un défaut de connaissances concernant la variabilité des répertoires acoustiques ;
- la limitation de la bande de sensibilité fréquentielle du système hétérodyne utilisé en actif, peut entraîner la perte de contacts dans les fréquences les plus hautes (*Rhinolophus, P. pygmaeus*) ou les plus basses (*T. teniotis, N. lasiopterus*) si l'observateur est à l'écoute à ce moment précis sur une bande trop distante. L'utilisation - lorsqu'elle existe sur le détecteur - de la division de fréquence en simultané de l'hétérodyne, peut pallier cette faiblesse ; mais elle n'est utilisable que dans des conditions de bruit de fond faible ou nul ;
- un bruit de fond intense et continu (torrent, stridulations de Sauterelles) est une perturbation importante pour les deux techniques active et passive, qui perdent certainement toutes deux de l'information. Ce bruit génère un grand nombre d'enregistrements en passif, avec l'avantage de révéler des signaux de Chiroptères faibles non détecté habituellement (à condition qu'ils se distinguent de la bande de saturation lors de l'analyse), et l'inconvénient de devoir traiter un grand nombre de fichiers. En actif il peut, lorsqu'il est très intense, s'avérer douloureux pour l'auditeur, qui a tendance à déserter la zone hétérodyne saturée et peut ainsi manquer des signaux dont la bande de fréquences est située entièrement dans cette zone.

La collecte des données : influence de l'habitat et/ ou de la qualité auditive de l'observateur

Il est possible que le type d'habitat induise, au moins partiellement, la différence constatée entre les stations en centre *versus* lisière de prairie (respectivement +35,3 % et +28 % de contacts en hétérodyne par rapport à l'enregistreur passif). En effet, le bruit de fond dû aux Sauterelles était souvent plus intense en lisière, notamment après la fauche ; ceci peut rendre difficile la mise en évidence de sons faibles dans un bruit de fond intense pour tout observateur quelle que soit sa qualité d'audition ; on remarque d'ailleurs que les 3 espèces sous-estimées par l'hétérodyne (*N. lasiopterus, P. austriacus, B. barbastellus*) sont dans la gamme de fréquence (13 à 35 kHz) la plus concernée par les stridulations d'Ensifères.

Mais il est probable que la disparité de qualité auditive entre les deux observateurs soit également en cause. En effet, c'est en lisière qu'opérait la personne moins sensible aux hautes fréquences ; or cet handicap génère un déficit de pouvoir séparateur d'un signal noyé dans un bruit de fond. Toutes les fréquences captées en hétérodyne sont pourtant dans un spectre fréquentiel bas, donc audible par les deux observateurs ; mais le rapport signal sur bruit est nettement moins performant pour la personne déficiente dans les moyennes et hautes fréquences. Cette caractéristique implique que les chiroptérologues pratiquant l'écoute active testent régulièrement leur sensibilité aux différents niveaux de fréquence (les chants d'Orthoptères ou de Cigales sont de très bons indicateurs), notamment avec l'âge qui est un facteur naturel aggravant, et tiennent compte de leurs éventuelles limites dans l'interprétation de leurs résultats quantitatifs en hétérodyne dans des conditions de bruit de fond important. Cependant, que les observateurs expérimentés de longue date dont l'audition décline, se rassurent : une baisse progressive de sensibilité aux hautes fréquences due à l'âge n'est pas un handicap pour l'appréciation des critères auditifs en expansion de temps, car s'ils ont été mémorisés auparavant, le cerveau reconstruit les informations manquantes pourvu que les sollicitations restent fréquentes (voir à ce sujet Kraemer *et al.*, 2005).

L'analyse des données : identification du bruit de fond et des taxons de Chiroptères

Tadarida est efficace pour trier les fichiers ne contenant que du bruit, avec seulement 7 % de discordances, qui sont ventilées dans une large gamme d'espèces (24), de *N. lasiopterus* à *R. hipposideros*. Parmi ses discordances, le contrôle de 300 fichiers issus des 4 secteurs d'études, légendés « bruit » en manuel et auxquels Tadarida associait une ou plusieurs espèces de Chiroptères, révèle 30,3 % de séquences avec des signaux de Chiroptères de faible intensité ayant échappé à l'attention des observateurs (une densité trop faible de l'image du spectrogramme est souvent la cause principale) ; ils étaient le plus souvent noyés dans un bruit de fond couvrant la gamme de fréquences de leur maximum d'énergie. Le logiciel est donc très efficace pour déceler des signaux faibles qu'il est fastidieux (coût en temps, problèmes d'inattention, de lassitude…) pour un observateur de déceler, que ce soit visuellement ou auditivement. En réalité donc, le taux de bonne classification des bruits par Tadarida est supérieur à 93 %, sans doute proche de 95 %. À noter cependant que Tadarida a une tendance forte à classer en « noise » des séquences

contenant des signaux de *N. lasiopterus* (41,9 % des cas), de *N. leisleri* (31,9 %) ou de *Myotis* (respectivement 38,3 % et 29,2 % pour *M. mystacinus* et *M. brandtii*). Concernant les 69,7 % des 300 séquences contrôlées, qui sont confirmées comme « bruit » et auxquelles Tadarida attribue au moins une espèce (*Pipistrellus* spp. le plus souvent), la confusion du système automatique semble venir principalement d'harmoniques de stridulations d'Ensifères (*Tettigonia viridissima* et *Pholidoptera griseoaptera* notamment), et de bruits parasites produits par l'environnement ou par le microphone.

Cette capacité de Tadarida à déceler des signaux faibles (donc peu visibles et audibles à l'examen en manuel) dans les séquences avec du bruit de fond, vaut aussi pour les séquences où ces signaux figurent en arrière-plan d'une espèce bien ostensible qui va focaliser l'attention de l'observateur distrait, fatigué, ou ayant réglé le seuil du spectrogramme (sur BatSound) sur une valeur trop élevée ce qui a pour effet d'estomper les signaux faibles. Ce fait a été vérifié pour 3,6 % des 303 séquences contrôlées manuellement, dans lesquelles Tadarida identifiait plus d'espèces que l'écologie acoustique dans une même séquence ; dans la plupart des cas il s'agissait de Pipistrelles lointaines.
La tendance récurrente de Tadarida, à identifier plusieurs espèces dans une séquence où il n'y en a en réalité qu'une seule, peut être par ailleurs un handicap pour l'utilisateur du logiciel : parmi les espèces proposées, il se peut que l'une d'elles soit en concordance avec l'identification manuelle (parfois toutes sont en discordance…), mais le seul moyen de le savoir est d'opérer une vérification manuelle systématique des très nombreux fichiers concernés. Cette caractéristique de Tadarida pénalise aussi (dans de faibles proportions) ses performances dans le cadre de cette étude : il peut arriver par exemple que pour une séquence où l'écologie acoustique identifie 2 espèces (Nyclei et Pipkuh par ex.), Tadarida les identifie correctement mais en ajoutant Pippip comme 3e espèce (non présente en réalité) ce qui génère 6 comparaisons croisées dont 2 obsolètes, augmentant ainsi le nombre de discordances pour les 2 espèces présentes et correctement identifiées. Parmi les cas les plus courants de confusion du logiciel, on rencontre les bruits parasites (générant beaucoup de fausses Pipistrelles, Rhinolophes et Murins), les phases de captures et les cris sociaux. Un autre cas fréquent est celui de 2 individus (ou plus) d'une même espèce de Pipistrelle chassant ensemble ; ils se décalent alors en fréquence, suffisamment pour que l'un au moins déborde de sa gamme spécifique classique ; Tadarida classe alors un individu dans une espèce et l'autre dans une autre espèce, formant ainsi des couples « vrai-faux » comme *P.kuhlii-H.savii, P.kuhlii-P. nathusii, P.pipistrellus-P.pygmaeus* ; seule une analyse manuelle démarquée des seules mesures peut alors trancher, grâce à des critères comportementaux appréhendés sur la longue durée des séquences raccordées, ou en lien avec les contextes géographiques et environnementaux.

Parmi les deux espèces les mieux reconnues par Tadarida (*R. ferrumequinum* et *P. pipistrellus*, avec 83 et 80 % de concordance), la seconde, lorsqu'elle produit des signaux FM dont la FME est supérieure à 50 kHz, est souvent confondue avec *P. pygmaeus* par le logiciel ; de même, des signaux d'approche de *P. kuhlii*, dont le haut de la bande de fréquences déborde au-dessus de 40 kHz, vont être classés en *P. pipistrellus*.
L'unique séquence d'*E.nilssonii* a été classée comme *H. savii* malgré la présence

dans la séquence de signaux d'approche en FM aplanie sur 32 kHz de FME, et de QFC modulées (3,4 kHz de largeur de bande) sur 28,9 kHz (ce qui sous-entend la possibilité de QFC planes en dessous de cette valeur dans un contexte de recherche passive : un exemple de déduction comportementale qui constitue un des fondements de l'écologie acoustique).

Les séquences attribuées à *V. murinus* par l'écologie acoustique, ont été classées par Tadarida en *N. leisleri* ou *N. noctula* dans 60,4 % des cas, espèces qui, selon le comportement acoustique pratiqué, peuvent être assez proche ; les autres discordances (classement en *P. pipistrellus* ou *P. kuhlii* par exemple) sont plus énigmatiques.

T. teniotis n'est pas noté en Limousin malgré les nombreux inventaires réalisés depuis 1985 ; le logiciel Tadarida l'identifie à 224 reprises, principalement en confusion avec *N. lasiopterus*, bien présente en Limousin notamment sur le secteur creusois de Millevaches, mais que le logiciel n'identifie à aucune reprise malgré les 677 séquences que l'écologie acoustique lui attribue.

Parmi les taux de discordances les plus élevés, on trouve la quasi-totalité (7 sur 8) des espèces de *Myotis*, genre qui représente pour l'analyse automatique le plus gros écueil à l'heure actuelle. *M. nattereri* est en concordance à 49,1 %, ce qui correspond aux séquences de type claquement bas (Barataud, 2026) dont certaines caractéristiques (durée, LB, FT, structure) sont plus discriminantes ; mais lorsque cette espèce pratique d'autres types acoustiques (ce qui est fréquent en lisière ou en milieu ouvert) il est alors presque toujours confondu par le logiciel. *M. myotis* et *M. blythii* forment un complexe acoustique avec un fort taux de recouvrement, notamment lorsqu'ils utilisent le type absence bas ; c'est ainsi que l'écologie acoustique a attribué le niveau de confiance « certain » à chacune de ces deux espèces dans respectivement 37,4 % et 27,7 % des cas, contre 97,3 % en moyenne pour toutes les espèces ; Tadarida traduit cette difficulté par l'utilisation du code MyoGT pour désigner ce complexe, qu'il a attribué à ces deux espèces pour 55,8 % des séquences identifiées comme tel par l'écologie acoustique.

R. euryale (présent sur la zone d'étude, mais non révélé par l'analyse manuelle combinant les critères d'écologie acoustique et ceux de Disca, à paraître) a été identifié par Tadarida à 172 reprises ; la discordance avec 8 espèces, dont R. *hipposideros* et *P. nathusii* pour les cas les plus fréquents, semble indiquer que la confusion est surtout générée par des bruits parasites en fréquence constante ; cette conclusion est valable aussi pour *R. hipposideros*, identifié par Tadarida sur 748 fichiers contre 131 par l'écologie acoustique.

Il est intéressant de constater qu'au sein du genre *Plecotus*, Tadarida a lui aussi identifié *P. macrobullaris* (non encore validé dans le Massif Central par une capture et une analyse génétique), et qu'une majorité des séquences que, par prudence (signaux faibles ou en recouvrement entre les 3 espèces), l'écologie acoustique a classé en *Plecotus* sp., a été attribuée par Tadarida à *P. austriacus*, espèce largement dominante (72,3 % des séquences de *Plecotus*) dans les habitats inventoriés : il est possible que Tadarida dispose de critères supplémentaires pour identifier cette espèce, même si son taux de concordance n'est que de 50,2 % et qu'elle est confondue dans 38 % des cas avec d'autres espèces (n = 16) que les Oreillards.

Les taux de concordance entre l'écologie acoustique et Tadarida, ventilés tout au long du gradient de probabilité de

l'identification par le logiciel (**Figure 9** ; **Annexes 4 et 5**), ne retiennent que 5 espèces identifiées par Tadarida avec un taux de concordance supérieur à 75 %, à condition de ne retenir que les indices de probabilité supérieurs à 0,8 (*P. pipistrellus*) ou 0,9 (*R. ferrumequinum, B. barbastellus, R. hipposideros, N. leisleri*). Ces résultats indiquent aux utilisateurs de Tadarida les espèces pour lesquelles un contrôle manuel est nécessaire, à partir de tel ou tel seuil de probabilité appliqué par le logiciel (mais il est important de considérer qu'une variabilité est possible selon les contextes : habitat, cortège d'espèces, comportements acoustiques…). Il est difficile de fixer un niveau d'exigence à partir des taux de concordances entre les deux méthodes ; les tranches de 25 en 25 % ne sont ici qu'indicatrices, d'autres seuils pourraient être retenus... Les taux de 80 % avec un indice de 0,9 pourraient être considérés comme un résultat satisfaisant pour 5 espèces ; pour toutes les autres, un effort de contrôle manuel plus ou moins étendu semble incontournable. Ceci d'autant que des différences dans les espèces plus ou moins bien reconnues par le logiciel, peuvent apparaître en fonction du contexte spatiotemporel (saison, habitat, etc.) qui influence leur comportement acoustique : un contrôle rapide de tous les taxons identifiés par Tadarida, effectué au préalable sur quelques séquences pour chaque cas d'étude, peut donner à l'observateur une indication qui orientera son effort de validation.

Un même individu de Chiroptère est souvent enregistré pendant une durée de plusieurs dizaines de secondes, occasionnant des séries de fichiers (5 secondes chacun). Il arrive que les critères les plus diagnostiques, amenant à une identification certaine en écologie acoustique, soient concentrés sur un ou quelques fichiers seulement ; mais l'absence d'interruption dans le train des signaux garantissant qu'il s'agit toujours du même individu, il est alors possible en manuel de relier l'ensemble sous une même identification et un même indice de confiance. Tadarida ne pouvant appliquer ce niveau global d'analyse, il est très fréquent, comme de nombreuses vérifications l'ont montré dans notre jeu de données, que pour une série de plusieurs fichiers chronologiquement reliés, le logiciel attribue 2 voire 3 espèces différentes au lieu d'une seule, en fonction des caractéristiques propres à chaque fichier de 5 s. Les cas les plus fréquents se rencontrent avec le groupe des Sérotules (une série de séquences produite par *E. serotinus* - indice certain - par exemple, donne souvent lieu à 3 taxons identifiés par Tadarida : Eptser, Nycnoc et Nyclei ; une autre série produite par *N. lasiopterus* - indice certain - par exemple, donne lieu à 3 taxons identifiés par Tadarida : Eptser, Nycnoc et Tadten), ou avec le genre *Myotis* (une série de séquences produite par *M. mystacinus* - indice certain - par exemple, peut donner lieu à 9 conclusions par Tadarida : Myomys, Pipkuh, Pippip, Myocap, Myonat, Myoema, Myodau, Eptser, noise).

L'identification en manuel avec la méthode d'écologie acoustique n'est bien entendu pas à l'abri d'un risque d'erreurs, notamment pour les espèces formant des complexes acoustiques. C'est la raison pour laquelle nos résultats en manuel ne sont pas posés en référentiel absolu, mais en termes de concordances *versus* discordances. Il est cependant important de noter qu'un soin tout particulier a été apporté par le validateur – notamment en regard de certains critères auditifs pouvant être plus dépendants de l'état d'attention à un moment donné – aux séquences correspondant à des

cas de recouvrement possible entre espèces formant des complexes (genres *Myotis*, genre *Plecotus*, groupe des Sérotules, complexes *M.schreibersii-P. pipistrellus-pygmaeus, H.savii-P.kuhlii-nathusii, R.hipposideros-euryale*). Un temps d'analyse plus important, des comparaisons avec un référentiel, et (plus rarement, pour une séquence particulièrement délicate) plusieurs examens en décalé : tout a été réalisé dans l'optique d'éliminer le risque d'erreur en regard des critères liés à la méthode (qui elle-même reste bien entendu évolutive et perfectible).

Les limites observées ici pour Tadarida sont partagées par d'autres outils automatiques. Rydell *et al.* (2017), en testant trois logiciels (Sonochiro®, Kaleidoscope et BatClassify) sur sept espèces, ont montré que la distinction bruit (pluie) / Chiroptère était toujours correcte (100 %) mais que les espèces aux signaux moins caractéristiques restaient mal identifiées : *V. murinus, Myotis* spp. et *P. auritus*. Leurs résultats convergent fortement avec les nôtres : difficulté d'identification pour les mêmes groupes d'espèces et une distinction bruit/Chiroptère correcte. Jay (2018), qui a évalué Sonochiro® sur 2 196 séquences de 29 espèces, aboutit à des conclusions similaires sur la variabilité interspécifique des performances. Betriou (2025), qui a évalué les différences de résultats entre Sonochiro® et Tadarida sur 209 h d'enregistrements, a révélé qu'aucun des deux logiciels n'est complètement fiable et qu'il est nécessaire d'effectuer une vérification manuelle des résultats afin de garantir une liste d'espèces correcte et d'éviter une surestimation des contacts. Russo & Voigt (2016) ont également appelé à la prudence lors de l'utilisation de ces logiciels de traitement. Notre étude conforte ces recommandations. Aucun outil automatique n'est à ce jour suffisamment performant pour se passer de contrôles manuels, ce qui implique une formation initiale et une bonne expérience pour tous les utilisateurs désireux de fournir un travail de qualité.

L'analyse des données : cohérence de l'identification des doublons

Pour un identificateur humain, plusieurs paramètres internes (état de fatigue ou de distraction) ou externes (bruit ambiant) peuvent modifier sa capacité d'attention et induire une variation dans la qualité de son travail. Ainsi, un test classique de présentation répétitive à un même observateur, avec un écart temporel variable, d'une même séquence à identifier, présente un risque plus ou moins important (selon la difficulté liée à la qualité de la séquence, au type d'espèce faisant partie ou non d'un complexe acoustique, etc.) d'aboutir à des conclusions différentes. Ce biais observateur fait partie de toute analyse humaine.
Un programme informatique, n'étant pas soumis aux mêmes contraintes, est sensé annuler ce biais, ce qui représente un avantage certain (lorsque le résultat de son analyse est correct bien entendu).
Le test de reproductibilité effectué dans le cadre de cette étude, a révélé que Tadarida renvoie toujours strictement les mêmes identifications (par ailleurs en concordance ou en discordance avec l'écologie acoustique) lors des 2 soumissions pour chacun des 77 fichiers. Ce test rapide (faibles échantillonnage et répétition) suggère une bonne cohérence du logiciel. Ceci (nonobstant les erreurs d'identifications) est un avantage face à l'identification manuelle, sensible aux biais de variations intra (degré d'attention) ou inter (niveau d'expérience) individuelles. Les discordances d'identifications semblent donc liées uniquement aux limites du modèle de classification

de Tadarida, en lien avec la variabilité des caractéristiques de signaux sonar (différences de structure à l'émission et de qualité de réception).

L'analyse des données : comptabilité de l'activité

La plupart des études acoustiques sur les Chiroptères, à quelque niveau que ce soit (inventaire ponctuel, suivi temporel, recherches en écologie), dépassent le simple inventaire qualitatif pour mesurer le niveau d'activité (chasse, social, transit) de chaque espèce, et ainsi utiliser au mieux les données recueillies. Il devient ainsi possible (à condition d'appliquer les coefficients de pondération des différences d'intensité) de comparer les valeurs d'activité des habitats entre eux (toutes espèces confondues ou par guildes d'espèces) et/ou des espèces entre elles (éventuellement réunies par guildes écologiques : habitats de chasse, techniques de chasse, etc.), ce qui donne une puissance d'interprétation écologique des résultats bien plus importante que la production d'une liste d'espèces. Il devient aussi possible de comparer ses propres résultats avec un référentiel comme celui proposé par le MNHN (Bas *et al.*, 2020), à condition que le référentiel utilisé soit lui-même construit sur des identifications correctes.

Ceci passe d'abord par la définition de l'unité de l'activité ; Tadarida utilisant, comme l'écologie acoustique, la tranche de durée de 5 secondes avec au moins 1 signal pour définir le contact, les résultats sont comparables entre les deux méthodes. Tadarida, par contre, n'a pas intégré le principe des coefficients d'intensité (corrigeant la disparité entre espèces), ce qui biaise toute comparaison (entre espèces et entre habitats toutes espèces confondues) ; c'est donc à chaque observateur d'appliquer les coefficients spécifiques en sortie d'analyse automatique (après contrôle et validation manuelle des identifications). Nous avons donc, à titre d'exemple dans cette étude comparative, appliqué les coefficients aux résultats de Tadarida. Le logiciel d'identification automatique ne prenant pas en compte les cas où 2 voire 3 individus de la même espèce sont présents dans une même séquence (10,1 % des séquences, +9,4 % de contacts pondérés), cela majore d'autant l'activité mesurée par l'écologie acoustique.

La caractéristique de Tadarida d'identifier plusieurs espèces dans une séquence là où il n'y a qu'une seule, est majoritairement responsable du nombre double de comparaisons (101 576) par rapport au nombre de fichiers enregistrés (50 460). Ce biais entraîne une raison supplémentaire de contrôle manuel des séquences, en ciblant celles où plusieurs taxons sont identifiés ; faute d'exercer cette vérification, les valeurs d'activité sont non seulement biaisées, mais variables d'un contexte à l'autre, ce qui relativise la pertinence d'utiliser un référentiel d'activité pour juger de la valeur des habitats inventoriés.

La différence de nombre de contacts entre les deux méthodes est de 5,8 % à l'avantage de Tadarida si l'on prend en compte l'ensemble des taxons. Cet écart est à relativiser par deux éléments contradictoires : les 9,4 % de séquences avec plusieurs individus que seule l'écologie acoustique comptabilise ; les séquences contenant des signaux faibles non repérés par l'observateur en manuel mais détectées par le logiciel. *P. pipistrellus* et *P. kuhlii*, représentant respectivement 37,7 % et 17,1 % du total des contacts comptabilisés par l'écologie acoustique, sont identifiées par Tadarida avec respectivement 79,8 % et 61,5 % de concordance ; leur influence sur la réduction de l'écart entre les deux méthodes est donc importante. Les fortes différences constatées chez plusieurs taxons

dont le statut et l'écologie en font des espèces rares et/ou sensibles (constituant donc des leviers efficaces pour des mesures de conservation de sites ou d'habitats), biaisent l'interprétation des résultats : leur sous-estimation ou leur surestimation est tout sauf anodine dans les préconisations de conservation qui concluent un inventaire. Dans le contexte de notre étude, sont sous-estimées par Tadarida : les grandes espèces de Murins (-49 %), *M. alcathoe* et *M. bechsteinii* (spécialistes des forêts anciennes) avec respectivement -58 % et -85 %, *N. lasiopterus* (-94 %). D'autres sont surestimés : le genre *Rhinolophus* (+286 %), *P. pygmaeus* (+1050 %), *P. nathusii* (+271 %), *H. savii* (+2246 %).

Ces biais (discordances dans l'identification des espèces et faux taxons à partir du bruit de fond) pointent la nécessité pour les utilisateurs d'exercer un contrôle manuel le plus complet possible, qui, selon les cas, pourrait nuancer l'avantage de l'utilisation d'un logiciel automatique. Mais Tadarida est performant à plus de 93 % dans le tri des bruits, ce qui représente un avantage énorme en termes de gain de temps, pour sélectionner les séquences devant ensuite faire l'objet d'une analyse pour identification ; en effet, les séquences ne contenant que du bruit représentent souvent 50 à 80 % du volume total des enregistrements. *P. pipistrellus* est également bien identifiée à 80 % environ, y compris en présence de signaux faibles en arrière-plan ou dans du bruit de fond (ils peuvent être alors manqués par un observateur en analyse manuelle) ; or cette espèce représente souvent 40 à 80 % des contacts.
Ainsi, chaque observateur peut se retrouver, après application de ces deux tris grâce à Tadarida, avec un lot de séquences limité à 10-20 % du total des enregistrements initiaux ; l'analyse entièrement manuelle de ce volume restant devient alors une option tout à fait réalisable, qui participe par ailleurs à l'entraînement de l'observateur à la méthode d'écologie acoustique. La puissance d'identification de cette méthode tient en grande partie à l'appréciation du comportement de l'individu (analyse combinée du rythme et de la structure des signaux sur une séquence la plus longue possible), élément encore inaccessible aux traitements informatiques.

Ainsi, les conclusions possibles de cette étude comparative, peuvent tenir en deux points :

- les utilisateurs de détecteurs d'ultrasons ayant une affinité avec le fonctionnement naturaliste auront intérêt à privilégier, chaque fois que cela s'avère possible et pertinent, la détection active : ils bénéficieront d'une bonne efficacité en combinant plaisir des sens et optimisation du temps de travail sur le terrain, sans pertes préjudiciable de données qualitatives et quantitatives ;
- lorsque l'usage d'enregistreurs automatiques se justifie (phénologie sur nuit complète et/ou plusieurs saisons, milieux « ingrats », contingences personnelles ou professionnelles…), Tadarida est un outil fiable et performant pour effectuer un tri des séquences sans Chiroptères et de celles avec *P. pipistrellus*. Ceci limite le nombre de fichiers restants à un volume rendant possible une analyse manuelle, qui s'avère plus performante et participe à l'amélioration et la valorisation des connaissances de chaque observateur.

Ce dernier point est loin d'être anodin : il contribue à une distanciation individuelle et collective face à la robotisation généralisée, attitude devenant de plus en plus cruciale dans la façon d'être au monde des humains de ce XXIe siècle.

CONTRIBUTION DES AUTEURS

Michel Barataud (95 % bénévolat + contrats d'études ABC) a : conçu le protocole ; coordonné l'étude ; réalisé la moitié des écoutes actives (comparaison lors de la collecte) ; identifié la totalité des séquences récoltées sur les secteurs de Millevaches + sud-ouest Corrèze (2023 à 2026), Basse-Marche + sud-ouest Haute-Vienne (2023) ; validé les séquences complexes sur ces 2 derniers secteurs (2024 et 2025) ; construit la base de données ; co encadré le stage Master 2 ; rédigé l'article.

Cléo Dorléans (stage Master 2 en 2026 au sein du GMHL ; Dorléans, 2026) a transposé la base de données sous le logiciel R, soumis les séquences à Tadarida, construit le mode de représentation des résultats concernant la comparaison des identifications entre l'écologie acoustique et Tadarida, réalisé les graphiques sous R, relu l'article.

Sylvie Giosa (bénévolat) a réalisé la moitié des écoutes actives (comparaison lors de la collecte), relu l'article.

Manon Devaud (chargée de missions Chiroptères au GMHL) a posé les enregistreurs sur plusieurs sites de Basse-Marche et sud-ouest Haute-Vienne, identifié les séquences (hormis les cas complexes à valider) sur les secteurs de Basse-Marche (2024 et 2025) et du sud-ouest Haute-Vienne (2024), saisi les données pour ces deux secteurs, encadré plusieurs stages dont le stage Master 2 de 2026, relu l'article.

Remerciements

Cette étude résulte d'une collaboration fructueuse entre bénévoles et salariés au sein du GMHL ; merci à cette structure de s'engager dans des programmes de recherche appliquée parfois longs, dont la difficulté de financement est compensée par le bénévolat ; merci à son directeur, Gabriel Métégnier, pour son engagement personnel, ses conseils précieux concernant le traitement statistique des résultats de Tadarida, sa relecture de l'article. Merci aux collaborateurs qui ont assuré la pose des enregistreurs : Julien Barataud, Estelle Irazu, Margot Pluen (sud-ouest Corrèze) ; Frédéric Lagarde, Camille Gautheron, Yoann Mouet (**Le Champ des Possibles** ; Millevaches) ; Mélusine Masson et Mathieu Buis (Basse-Marche 2024).

Plusieurs relevés ont fait l'objet d'une aide financière : le PNR Périgord-Limousin en 2023 et 2024 pour le secteur sud-ouest Haute-Vienne ; les Atlas de la Biodiversité Communale (ABC) de Gentioux, Faux-la-Montagne et Saint-Martin-Château pilotés par l'association le Champ des possibles ; la société VALECO pour le secteur de Basse-Marche ; la DREAL et la Région Nouvelle Aquitaine (dans le cadre de la fiche action n° 9 liée à la prise en compte des Chiroptères dans les pratiques agricoles du Plan Régional d'Actions des Chiroptères, pour la compilation des retours d'expériences de cette étude afin d'améliorer le protocole au début du programme).

Bibliographie

Barataud, J. 2025. *Acoustique des Sauterelles, grillons et courtilières de France, Belgique, Luxembourg et Suisse – Identification et écologie*. Editions Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 592 p.

Barataud, M. 2020. *Ecologie acoustique des Chiroptères d'Europe. Identification des espèces, études de leurs habitats et comportements de chasse*. 4e édition augmentée. Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 360 p. https://ecologieacoustique.fr/?page_id=13

Barataud, M., S. Giosa. 2021. Activité de chasse des Chiroptères forestiers, comparée entre sol et canopée. *Plume de Naturalistes* 5 : 1-38. http://www.plume-de-naturalistes.fr/wp-content/uploads/2021/02/01_BARATAUD-GIOSA_2021-01_Activite-chiropteres_sol-canopee_Plume5_1-38.pdf

Barataud, M., S. Giosa, J. Grandadam & J. Jemin. 2016. Diversité des Chiroptères dans les peuplements forestiers du Limousin (France). *Le Vespère* 6 : 397-429. http://ecologieacoustique.fr/wp-content/uploads/Barataud-et-al_2016_Diversite-chiropteres_forets_Limousin.pdf

Barataud, M., T. Metz, G. Crețu, R. Gütz & T. Kessels. 2025. Activité nocturne automnale et hivernale des Chiroptères en forêt d'Erlenbusch (Allemagne). *Plume de Naturalistes* 9 : 1-52. http://www.plume-de-naturalistes.fr/wp-content/uploads/2024/12/01_BARATAUD-et-al_2025-01_Act-noct-automne-hiver-chiropteres-foret-Erlenbusch_Plume9_1-52.pdf

Barré, K., Le Viol I., Julliard R., Pauwels J., Newson S.E., Julien J.F., Claireau F., Kerbiriou C., Bas Y. 2019. Accounting for automated identification errors in acoustic surveys. *Methods Ecol Evol.* 00:1–18.

Bas, Y., D. Bas & J.F. Julien. 2017. Tadarida: A Toolbox for Animal Detection on Acoustic Recordings. *Journal of Open Research Software* 5(1):6. DOI: 10.5334/jors.154. https://www.researchgate.net/publication/313899806_Tadarida_A_Toolbox_for_Animal_Detection_on_Acoustic_Recordings

Bas Y, Kerbiriou C, Roemer C & Julien JF. 2020. Bat reference scale of activity levels (Version 2020-04-10) [refPF_Total_2020-04-10.csv] Muséum national d'Histoire naturelle. https://croemer3.wixsite.com/teamchiro/reference-scales-of-activity

Brabant R., Laurent Y., Dolap U., Degraer S. & Poerink B.J. 2018. Comparing the results of four widely used automated bat identification software programs to identify nine bat species in coastal Western Europe. Belgian *Journal of Zoology* 148 (2): 119–128. https://doi.org/10.26496/bjz.2018.21

Disca, T. à paraître. *Cahier d'identification des Chiroptères par la bioacoustique* ; Biotope. Mèze.

Dorléans, C. 2026. Fiabilité du logiciel Tadarida dans l'identification des Chiroptères et dans l'estimation de leur activité : analyse de données. Stage de fin d'études Master 2 BEE, Gestion de l'Environnement. GMHL. Rapport 51 p.

DREAL Limousin. 2016. Atlas des paysages en Limousin « Paysage en Limousin, de l'analyse aux enjeux ». http://www.nou-

velle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/atlas-des-paysages-en-limousin-paysage-en-limousin-a1483.html

Fauvel, B., T. Darnis & L. Tillon. 2014. Le SM2bat, un outil d'avenir à condition de definer rapidement une méthodologie ! *L'Envol des Chiros* 16 : 14-15.

Jay, M. 2018. Identification acoustique automatique des Chiroptères européens. Quelle efficacité du logiciel SonoChiro® ? *Plume de Naturalistes* 2 : 99-118. http://www.plume-de-naturalistes.fr/wp-content/uploads/2018/11/08_JAY_10-2018_Identification-chiropteres-SonoChiro_Plume2_99-118.pdf

Kraemer DJ, Macrae CN, Green AE, & coll. 2005. Musical imagery: sound of silence activates auditory cortex. *Nature*, 434:158.

Russo, D., & Voigt, C. C. (2016). The use of automated identification of bat echolocation calls in acoustic monitoring: A cautionary note for a sound analysis. *Ecological Indicators*, 66, 598–602. https ://doi.org/10.1016/j.ecoli nd.2016.02.036

Rydell, J., Nyman, S., Eklöf, J., Jones, G., & Russo, D. (2017). Testing the performances of automated identification of bat echolocation calls: A request for prudence. *Ecological Indicators*, 78, 416–420. https ://doi.org/10.1016/j.ecoli nd.2017.03.023

Vigie-Nature (a). 2024. Comment se portent les chauves-souris en France ? Comment se portent les chauves-souris en France ? (consulté le 22/07/2026).

Vigie-Nature (b). 2024. Vigie-Chiro. Vigie-chiro | Vigie-Nature (consulté le 22/07/2026).

Vigie-Nature (c). 2024. Le protocole en détail. Le protocole en détail | Vigie-chiro | Vigie-Nature (consulté le 04/08/2026).

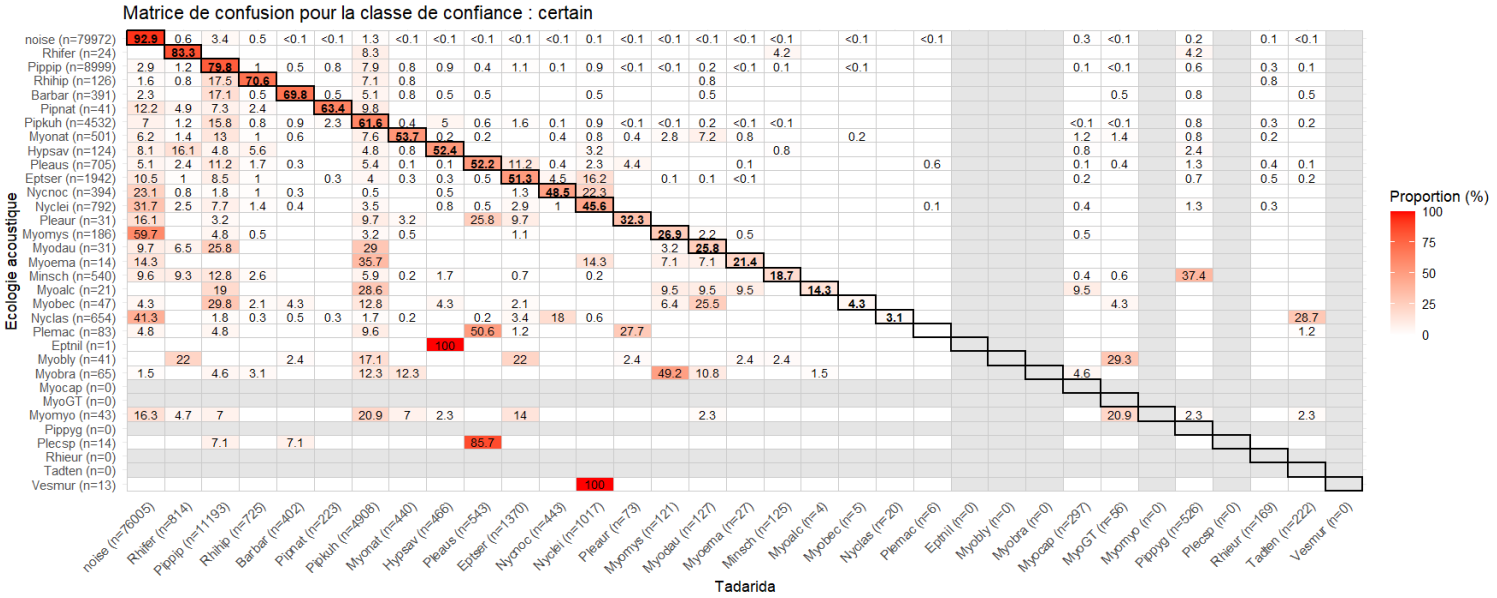
Pour citer cet article :

Barataud, M., Dorléans C., Giosa S., Devaud M. 2026.
Études acoustiques des Chiroptères ; comparaison des méthodes actif *versus* passif, de la collecte à l'identification.
Plume de Naturalistes 10 : 229-266.

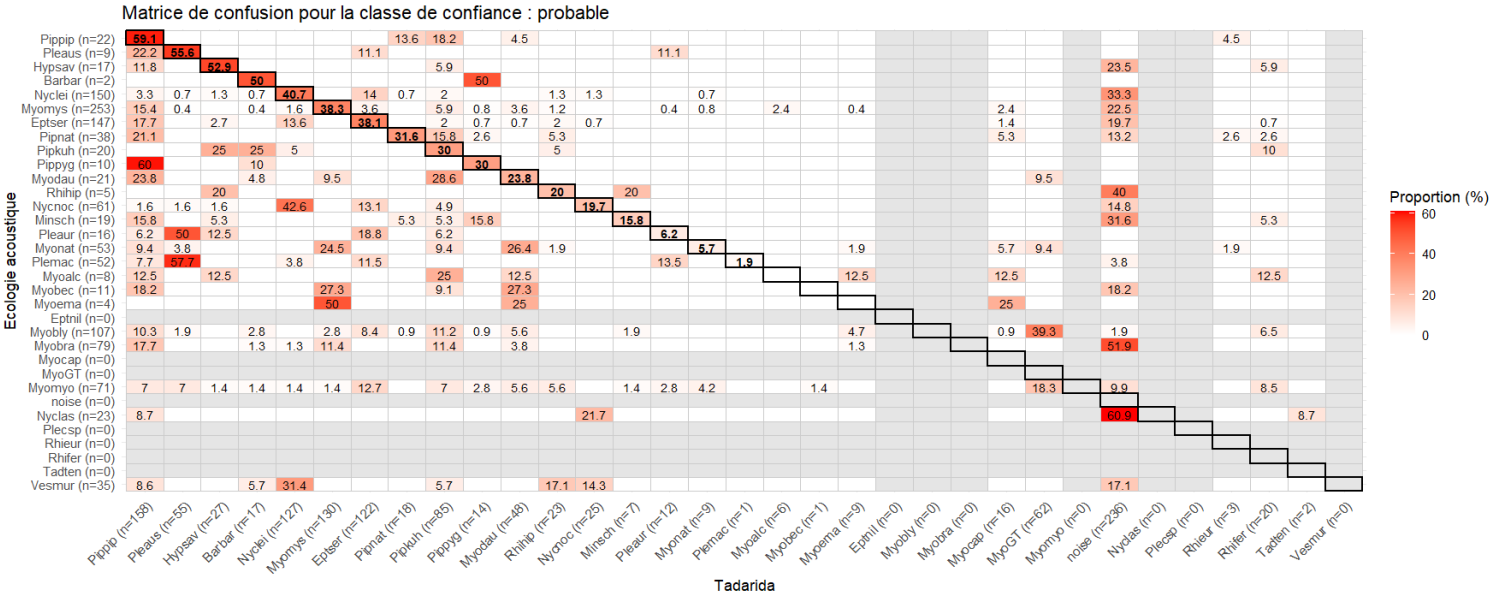
ISSN 2607-0510

Pour télécharger tous les articles de Plume de Naturalistes :
www.plume-de-naturalistes.fr

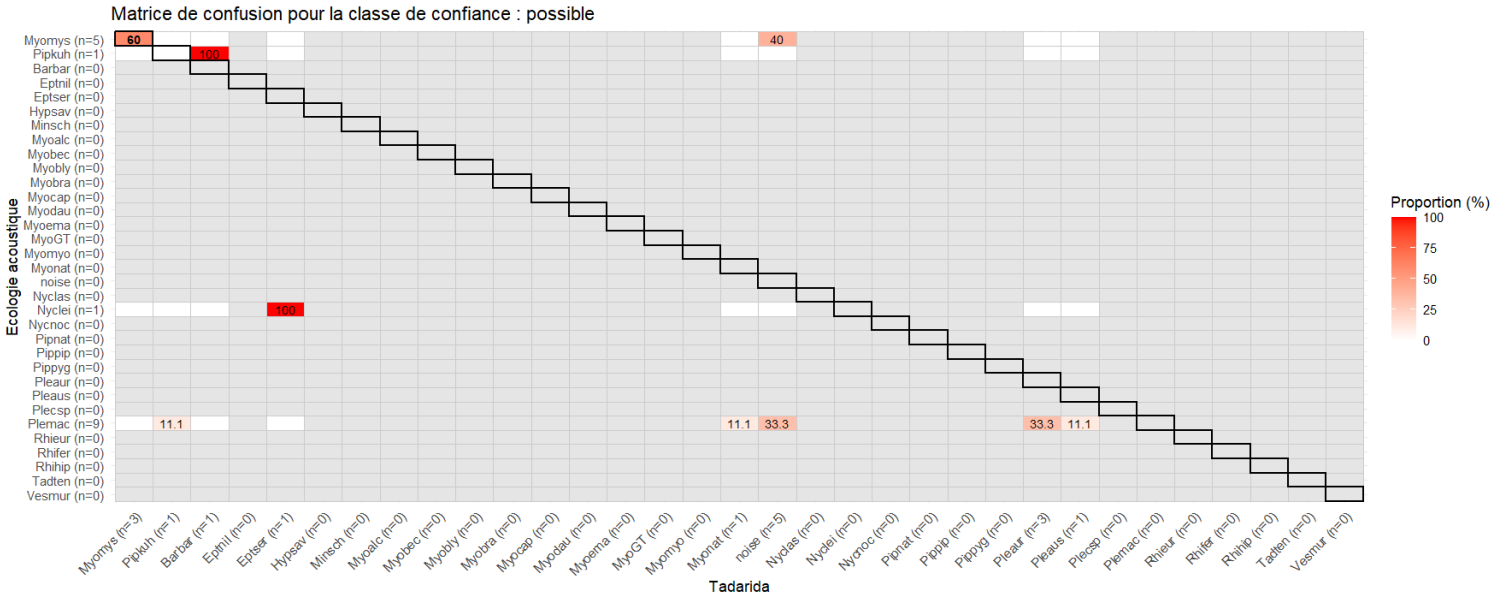
ANNEXES



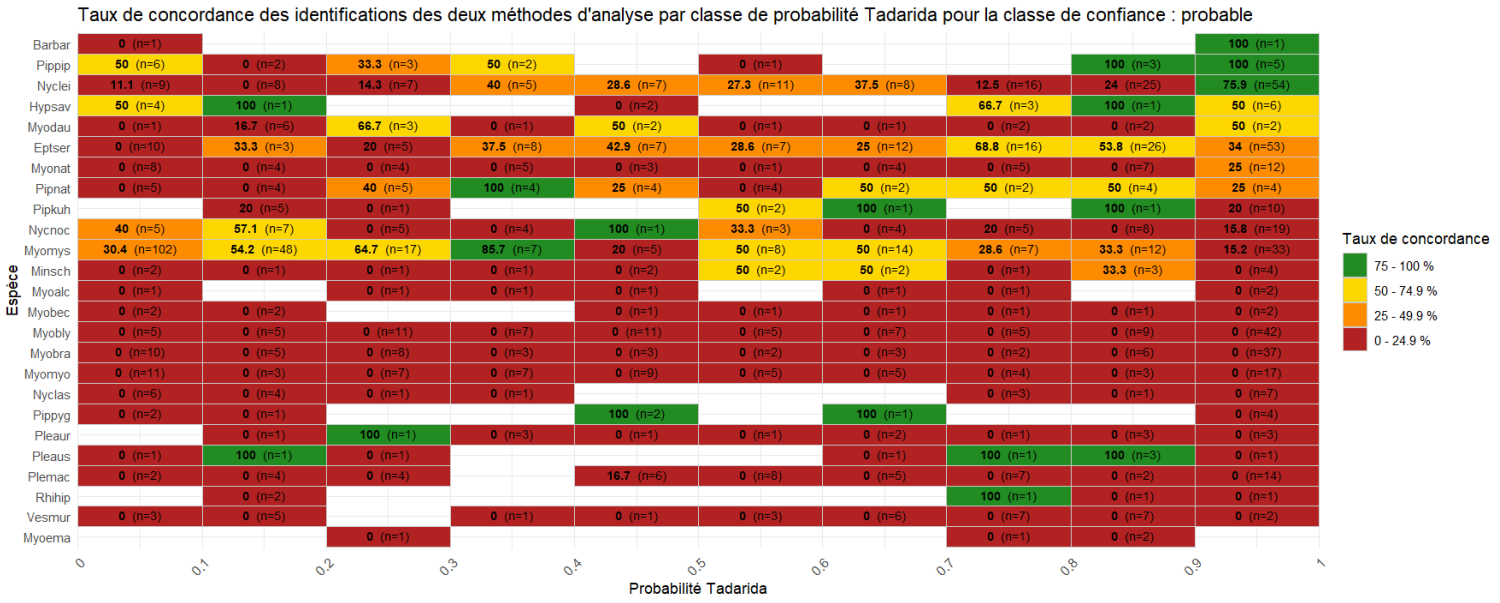
Annexe 1.
Matrice de confusion avec les identifications manuelles, niveau de confiance « certain ». Les items (bruit et taxons) sont déclinés de façon symétrique entre les ordonnées (écologie acoustique) et les abscisses (Tadarida), avec entre parenthèses le nombre de comparaisons de fichiers identifiés comme tel (quel que soit le niveau de confiance) par chacune des deux méthodes.



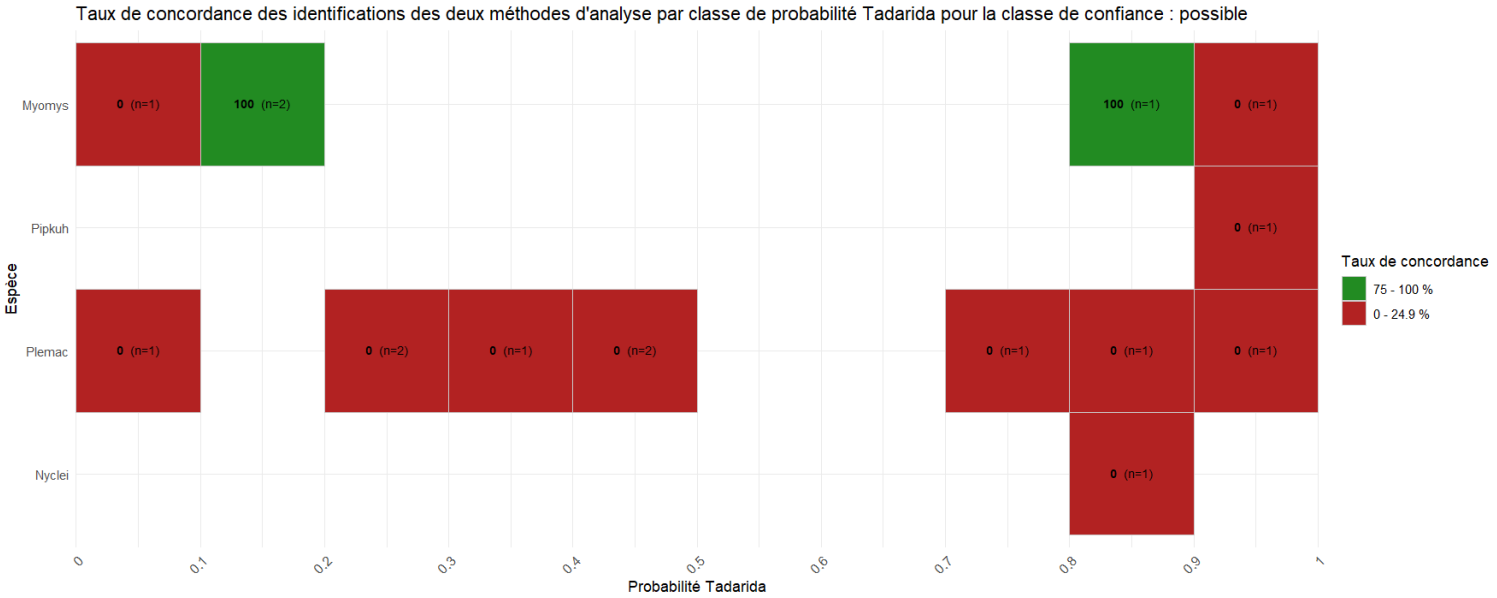
Annexe 2.
Matrice de confusion avec les identifications manuelles, niveau de confiance « probable ». Les items (bruit et taxons) sont déclinés de façon symétrique entre les ordonnées (écologie acoustique) et les abscisses (Tadarida), avec entre parenthèses le nombre de comparaisons de fichiers identifiés comme tel (quel que soit le niveau de confiance) par chacune des deux méthodes.



Annexe 3.
Matrice de confusion avec les identifications manuelles, niveau de confiance « possible ». Les items (bruit et taxons) sont déclinés de façon symétrique entre les ordonnées (écologie acoustique) et les abscisses (Tadarida), avec entre parenthèses le nombre de comparaisons de fichiers identifiés comme tel (quel que soit le niveau de confiance) par chacune des deux méthodes.



Annexe 4.
Concordances (avec un jeu de couleur indiquant les classes de 25 %) des identifications pour chaque taxon, classé de haut en bas par ordre décroissant de taux de concordance) entre l'écologie acoustique (données avec niveau de confiance « probable ») et Tadarida (par classes d'indices de confiance, de moins de 0,1 à plus de 0,9).



Annexe 5.
Concordances (avec un jeu de couleur indiquant les classes de 25 %) des identifications pour chaque taxon, classé de haut en bas par ordre décroissant de taux de concordance) entre l'écologie acoustique (données avec niveau de confiance « possible ») et Tadarida (par classes d'indices de confiance, de moins de 0,1 à plus de 0,9).

© Christian MALIVERNEY