



Ecofirst

CSDINGENIEURS+
INGÉNIEUX PAR NATURE

Marché 2282 - lot 2

Marché public de services portant sur la
détermination de classes d'activité chiroptérologique
par espèce et par région de Wallonie avec prise en
compte et analyse des biais dus au matériel d'écoute

Rapport final



Données administratives

Étude et rapport réalisés par

Ecofirst SC

Société coopérative

BE 0692.806.959

www.ecofirst.eu

Adresse postale : Grand-Rue 12 - 6870 Awenne

Personnes de contact pour ce dossier :

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

et Louise DE NEYER +32 488 03 91 21 louise.deneyer@ecofirst.eu



en collaboration avec

CSD Ingénieurs Conseils S.A.

Société anonyme

BE 0432.892.291

www.csdingenieurs.be

Adresse postale : Avenue Prince de Liège 72 - 5100 Namur

Personnes de contact pour ce dossier :

Julien Otoul +32 492 76 20 65 j.otoul@csdingenieurs.be

Arnaud Beckers +32 498 05 14 86 a.beckers@csdingenieurs.be



pour le compte de

Service Public de Wallonie (SPW)

Agriculture, Ressources Naturelles et Environnement
(ARNE)

Département de l'Etude du Milieu Naturel et Agricole
(DEMNA)

Direction de la Nature et de l'Eau (DNE)

Adresse postale : Avenue Maréchal Juin, 23 à 5030 GEMBLOUX

Pouvoir adjudicateur : Bénédicte Heindricks, Directrice générale du SPWARNE

Fonctionnaire dirigeant : Xavier Rollin xavier.rollin@spw.wallonie.be

Gestionnaire du dossier :

Corentin Laroy 081 33 65 25 corentin.laroy@spw.wallonie.be



dans le cadre du

Marché de services portant sur la modélisation de la probabilité de présence du Milan royal et de la Cigogne noire, ainsi que sur la détermination de classes d'activité chiroptérologique par espèce et par région de Wallonie avec prise en compte et analyse des biais dus au matériel d'écoute

Référence du marché : O3.02.03-24-2282

Et en particulier son LOT 2 intitulé "Détermination de classes d'activité chiroptérologique par espèce et par région de Wallonie avec prise en compte et analyse des biais dus au matériel d'écoute"

Visa d'engagement n°24/12804

Durée du marché : 22/01/2025 - 22/01/2026.

Composition du comité d'accompagnement :

- SPWARNE – DNF : Jean-Philippe Bizoux, Corentin Laroy, Mathilde Famerée
- SPWARNE – DEMNA : Quentin Smits, Jérémy Simar
- ECOFIRST : Jean-François Godeau, Pierrette Nyssen, Louise De Neyer
- CSD Ingénieurs : Arnaud Beckers, Perrine Renard

Information sur le rapport final

Rédaction et mise en page : Louise DE NEYER, Perrine RENARD, Arnaud BECKERS, Jean-François GODEAU et Pierrette NYSSSEN

Relecture : Julien OTOUL

Date de finalisation du rapport : 24/03/2026

Référence : De Neyer, L. Nyssen, P., Beckers, A., Renard, P., Godeau, J.-F., Détermination de classes d'activité chiroptérologique par espèce en Wallonie, Rapport final, Janvier 2026, Ecofirst et CSD Ingénieurs.

Table des matières

Données administratives	2
1. Introduction	7
1.1. Contexte.....	7
1.2. Objectifs.....	7
2. Référentiels d'activité des chauves-souris en Europe	10
2.1. Introduction.....	10
2.2. Référentiels développés en Europe.....	11
2.2.1. Royaume-Uni - Ecobat.....	11
2.2.2. France - référentiel Vigie-Chiro/ACTICHIRO.....	15
2.2.3. France - référentiel du groupe mammalogique breton.....	16
2.2.4. France - Bureau d'étude Encis.....	18
2.2.5. Île de la Réunion.....	21
2.2.6. Luxembourg - Gessner Landschaftsökologie.....	22
2.2.7. Wallonie - Bureau d'étude CSD.....	23
2.3. Synthèse.....	25
2.4. Discussion avec le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris.....	27
3. Biais liés au matériel	30
3.1. Introduction.....	30
3.2. Facteurs influençant la qualité et la quantité des données récoltées.....	31
3.2.1. Note préliminaire.....	31
3.2.2. Configuration technique.....	31
3.2.3. Paramétrisation.....	35
3.2.4. Fréquence d'échantillonnage (Sample rate ou Frequency Sampling).....	38
3.2.5. Gain (Channel gain).....	39
3.2.6. Autres configurations et paramètres.....	39
3.3. Format et Post-traitement des données.....	42
3.3.1. Format	42
3.4. Résumé des recommandations.....	46
4. Méthodologie	49
4.1. Rassemblement des jeux de données.....	49
4.2. Nettoyage des données.....	50
4.3. Filtration et catégorisation.....	51
4.3.1. Filtration selon l'indice I _{Sp} - Méthode de régression logistique.....	51
4.3.2. Filtre et découpage temporel.....	58
4.3.3. Filtre matériel et altitude.....	58
4.3.4. Habitat et zone biogéographique.....	59
4.3.5. Météo.....	62
4.3.6. Espèce / Groupe d'espèces.....	62
4.4. Classes d'activité.....	63
4.5. Référentiel pour des points d'écoute actifs de 5 minutes.....	63

5. Résultats.....	66
5.1. Référentiels produits - Application.....	66
5.1.1 Onglet Accueil.....	66
5.1.2 Onglet Analyse.....	67
5.2. Référentiels produits - Tableaux.....	67
5.3. Utilisation des référentiels pour des enregistrements de plusieurs nuits.....	71
5.4. Comparaison des référentiels produits avec des études existantes.....	72
5.4.1 Objectifs.....	72
5.4.2. Méthode.....	72
5.4.3 Résultats.....	73
5.5. Recommandations pour une utilisation adéquate.....	76
6. Bibliographie.....	78
7. Annexes.....	83
Annexe 1. Graphes illustrant la régression logistique pour toutes les espèces / groupes d'espèces.....	83
Annexe 2. Graphes illustrant la courbe ROC pour toutes les espèces/groupes d'espèces..	86
Annexe 3. Graphes illustrant, pour toutes les espèces/groupes d'espèces, l'évolution de 4 indicateurs en fonction du seuil ISp.....	88
Annexe 4. Tableau récapitulatif du nombre de nuits que compte la base de données wallonne pour chacun des catégories (combinaison période, habitat et espèce/groupe d'espèce).....	90



Partie 1 : Introduction

1.Introduction

1.1. Contexte

Les chauves-souris forment un groupe biologique qui est particulièrement affecté par l'implantation d'éoliennes, que ce soit via la collision, le barotraumatisme ou l'effarouchement. Par ailleurs, l'entièreté des espèces de chauves-souris wallonnes sont protégées en vertu de la Loi sur la conservation de la nature.

Depuis plusieurs années et à la suite de développements technologiques, la prise en compte de l'activité des chauves-souris dans le développement des parcs éoliens est devenue un élément clé de l'évaluation biologique des EIE. Cette évaluation se base sur la mesure de l'activité spécifique mesurée par la méthode des points d'écoute et/ou par la méthode de nuit complète pour les différentes espèces de chauves-souris présentes dans la zone d'implantation d'un parc éolien.

Ces évaluations quantitatives souffrent cependant d'un manque de référentiel et il est souvent compliqué pour les bureaux d'études et pour le DNF d'évaluer le niveau d'enjeu sur base du simple nombre de contacts. Actuellement, les mesures d'évitement / atténuation / compensation se basent principalement sur la présence/absence des espèces et un bridage standard (sauf dans le cas de relevés en continu où la norme vise à sauvegarder 90% des contacts). Ponctuellement, le niveau d'activité est comparé entre EIE mais aucune approche globale de niveau d'activité n'est actuellement disponible.

La détermination de classes d'activité chiroptérologique par espèce de chauves-souris sensibles à l'éolien (liste reprise dans la note de référence "*Procédures d'inventaire et mesures à prendre en faveur de la biodiversité dans le cadre des projets éoliens en Wallonie*") par protocole et par région bioclimatique de Wallonie permettrait d'avoir à disposition un référentiel sur lequel se baser dans le cadre des études d'incidences liées aux projets éoliens wallons afin de pouvoir situer objectivement le niveau d'activité détecté lors des relevés de terrain.

Par ailleurs, l'évaluation de ce niveau d'activité dépend également du type de matériel utilisé mais aussi du paramétrage de ce dernier. Une analyse de ces biais dus au matériel d'écoute et de leur implication sur les classes d'activité est donc nécessaire.

1.2. Objectifs

Le SPW-ARNE a confié à Ecofirst et CSD Ingénieurs la réalisation de cette mission, dont les objectifs spécifiés dans le cahier spécial des charges sont les suivants :

- Fournir une analyse de la littérature scientifique traitant de référentiel d'activité de chauves-souris par suivi acoustique et des biais rencontrés
→ **Voir partie 2 - Référentiels**
- Analyse des biais liés au matériel et son calibrage et proposition de standard type pour l'acquisition des données.
→ **Voir partie 3 - Biais**

- Collecte, rassemblement et traitement des données d'activité fournie par le SPW-ARNE et complétées le cas échéant par celles fournies par les bureaux d'études en charge des EIE afin d'évaluer les niveaux d'activités des espèces de chauves-souris sensibles à l'éolien par protocole, par région biogéographique et par grands types des milieux (p.ex. grandes cultures, forêts, autre) ;
→ **Voir partie 4 - Méthodologie**
- Production d'un référentiel de classe d'activité de chauves-souris par espèce sensible à l'éolien ;
→ **Voir partie 5 - Résultats et discussion**



Partie 2 : Référentiels d'activité des chauves-souris en Europe

2. Référentiels d'activité des chauves-souris en Europe

2.1. Introduction

Cette partie s'attache à identifier et décrire certains référentiels d'activité des chauves-souris développés en Europe, de manière à identifier les éléments clés à prendre en compte pour développer un tel référentiel (ou un ensemble de référentiels) pertinent pour la Wallonie. Ces référentiels sont d'abord décrits l'un après l'autre puis résumés dans un tableau. Ensuite, les éléments clés (type de détecteurs, type de données, unité de mesure de l'activité, découpage saisonnier, etc.) sont analysés.

Afin d'introduire les concepts utilisés ensuite, quelques définitions sont données. Le **quantile** est une valeur qui divise en classes d'intervalles égaux un jeu de données ordonnées, trié par ordre croissant. Cette valeur définit une position indiquant la proportion de données inférieures et supérieures à cette valeur. Il existe plusieurs formes de quantiles. Lorsque le jeu de données est divisé en parts égales définies à l'avance, ils ont des noms définis : quartiles (valeurs divisées en 4 groupes), déciles (constitution de 10 groupes), médiane (qui coupe les données en 2 parties égales, la moitié des données étant plus petites que la médiane, l'autre moitié plus grande) percentiles ou centiles (données divisées en 100 parties). Cette dernière forme de quantile, le percentile (ou centile) est une valeur qui divise un jeu de données ordonnées en 100 parties égales autour desquelles le jeu de données peut être décrit. Par exemple, le percentile 25 d'un jeu de données (disons des longueurs) est la longueur qui correspond au fait que 25% des longueurs du jeu de données sont plus petites et 75% des longueurs sont plus grandes que la longueur du percentile 25. Il se différencie du pourcentage car il évoque la position d'une valeur spécifique dans un jeu de données ordonnées, alors que les pourcentages évoquent la proportion par rapport à un tout. Les percentiles permettent la description de la répartition des données par rapport au jeu de données étudié. Le percentile est utilisé, par exemple, pour situer un enfant parmi des courbes de croissance/poids et ainsi savoir où il se situe par rapport aux données antécédentes.

Ce principe de classification des données en quantiles est à la base de la création de la plupart des référentiels. Une grande quantité de données chiffrées est triée de la plus petite à la plus grande. Dans le cas d'un référentiel d'activité, ces données mesurent l'activité d'une espèce (ou un groupe d'espèces) de chauves-souris (exprimée par exemple en nombre de contacts ou en minutes positives sur une nuit complète) dans un type de milieu ou une région particulière, à une saison donnée. Ensuite, ces données triées sont découpées en plusieurs catégories (classes de valeurs) sur base de pivots qui correspondent à des quantiles (percentiles) particuliers. Le nombre de classes, les valeurs pivots utilisées, le découpage géographique et saisonnier, l'unité de mesure de l'activité, le regroupement de certaines espèces sont différents pour chaque référentiel. Ces éléments sont détaillés ci-dessous pour chacun d'eux, puis des propositions sont émises quant aux choix à poser pour la création des référentiels wallons.

Enfin, le but d'un référentiel est de pouvoir comparer une valeur d'activité obtenue dans le cadre d'une étude particulière à un tableau de référentiel afin d'évaluer si l'activité mesurée est forte ou faible au regard des autres données. Dans le cas où plusieurs valeurs d'activité sont collectées au cours d'une étude particulière (par exemple via plusieurs nuits d'enregistrement), la manière de comparer cet ensemble de valeurs au référentiel doit être définie. (Est-ce qu'on prend une valeur moyenne, médiane, extrême, ... pour effectuer la comparaison ? Est-ce qu'on compare toutes les valeurs collectées, puis qu'on agrège les résultats ensuite ? Cette question n'est pas aussi simple qu'il n'y paraît.)

2.2. Référentiels développés en Europe

2.2.1. Royaume-Uni - Ecobat

2.2.1.1. Zone géographique et auteurs du référentiel

Ce référentiel a initialement été développé par l'université d'Exeter (sud de l'Angleterre) et est aujourd'hui hébergé et développé par la Mammal Society (Lintott et al., 2018). Il semble couvrir l'ensemble du Royaume-Uni.

2.2.1.2. Principe général

Ecobat est à la fois une base de données en ligne et un outil destiné aux écologues et aménageurs pour interpréter des données sur l'activité des chauves-souris (ce que nous appelons un référentiel d'activité). L'utilisateur charge d'abord ses données dans la base de données en ligne. Chaque ligne de cette base de données correspond à l'activité d'une nuit (nombre de contacts de 5 s) pour un site et une espèce donnée. Ensuite, un rang est attribué à chaque nuit d'enregistrement en la comparant avec les autres nuits "comparables" au sein de la base de données. Le calcul se fait espèce par espèce. Concrètement, si le site d'étude a fait l'objet de 50 nuits d'enregistrement en continu, le logiciel donnera un rang (quantile) à chacune d'elle, pour chaque espèce, puis proposera des résultats synthétiques sous forme de tableaux et graphiques.

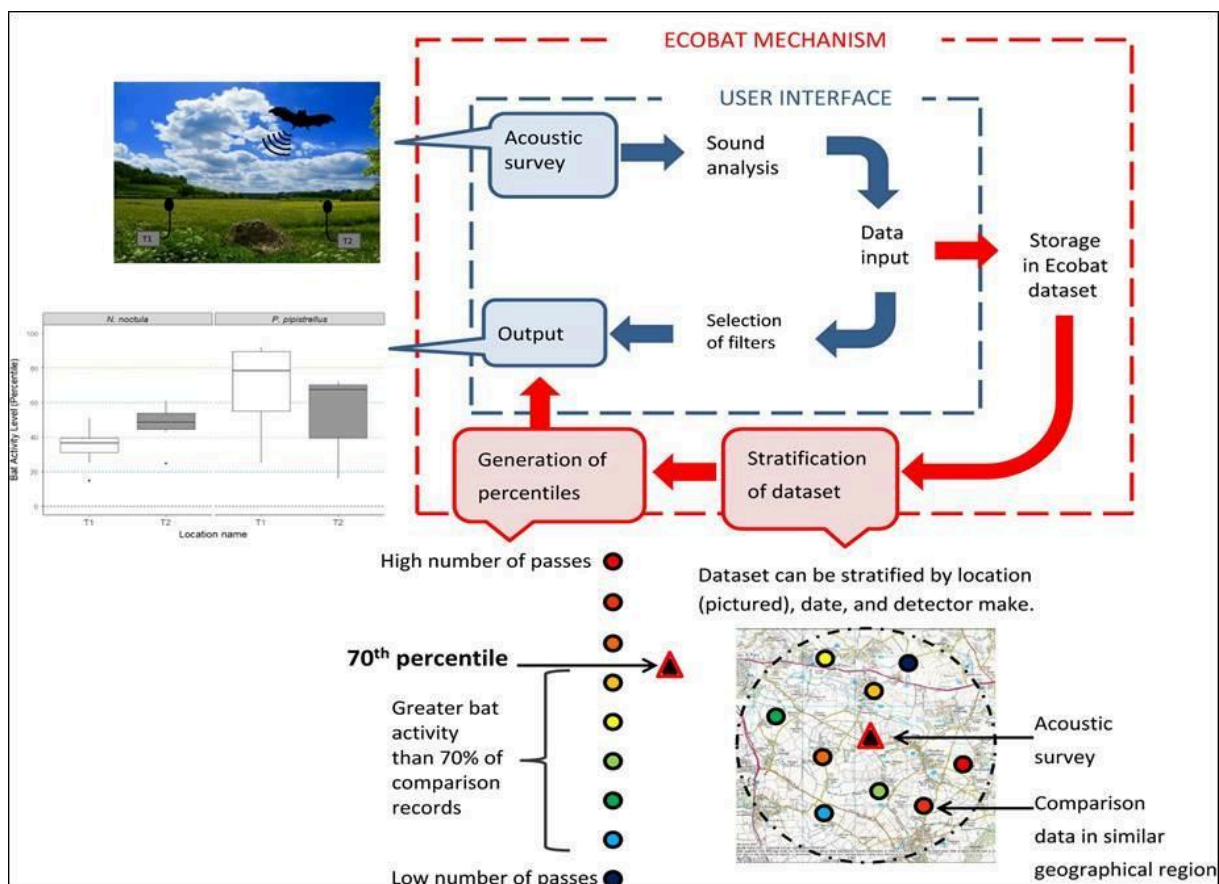


Figure 1 : Workflow général du référentiel Ecobat, depuis l'enregistrement des sons sur le terrain jusqu'à la production d'une figure qui représente l'activité des espèces sur un référentiel (ici avec l'exemple de la noctule commune et de la pipistrelle commune) (Lintott et al., 2018).

Nous présentons ci-dessous 4 exemples de présentation des résultats (2 tableaux et 2 figures). Ces exemples concernent 2 sites d'étude où 7 nuits d'enregistrement ont été réalisées (donc 14 nuits en tout) dans Lintott et al. (2018). Les résultats sont illustrés pour la noctule commune et la pipistrelle commune.

Le premier tableau classe les nuits en fonction de leur niveau d'activité en 5 catégories :

- high;
- moderate/high;
- moderate;
- low/moderate;
- low.

Tableau 1 : exemple de résultat illustrant comment les niveaux d'activité nocturne des chauves-souris seront attribués à des catégories d'activité (Lintott et al. 2018)

Location (latitude, longitude)	Species/species group	Nights of activity falling into different activity categories				
		High	Moderate/high	Moderate	Low/moderate	Low
50.17, 5.12	<i>N. noctula</i>	0	1	5	1	0
50.17, 5.12	<i>P. pipistrellus</i>	1	3	1	1	1
50.37, 3.53	<i>N. noctula</i>	0	0	2	4	1
50.37, 3.53	<i>P. pipistrellus</i>	3	2	0	2	0

Le second tableau présente un indicateur qui synthétise l'activité des 7 nuits : la médiane des percentiles. De quoi s'agit-il exactement ? Pour chaque espèce, un rang (percentile, entre 0 et 100) a été attribué à chaque nuit. Par exemple, le percentile 22 pour la première nuit, qui signifie que l'activité mesurée cette nuit-là était plus élevée que 22 % des autres nuits comparables du référentiel. Puis le percentile 75 pour la seconde, 10 pour la troisième, etc. Les 7 valeurs de percentiles sont ensuite classées de la plus petite à la plus grande, et on en calcule une médiane. Pour clarifier encore l'explication, on peut imaginer qu'une autre manière de procéder aurait pu être de calculer d'abord la médiane d'activité des 7 nuits, puis de comparer cette médiane au référentiel.

On notera qu'un intervalle de confiance est calculé sur ce paramètre, et que sont également précisés le nombre de nuits d'enregistrement sur le site d'étude (*nights surveyed*) et le nombre de nuits d'enregistrement dans la base de données de référence (*reference range size*).

Tableau 2 : Exemple de rapport présentant les indicateurs clés enregistrés pour chaque espèce au cours de plusieurs nuits d'enregistrement acoustique. La taille de la plage de référence (reference range size) représente la taille de l'ensemble de données "de référence" auquel les données d'activité ont été comparées (Lintott et al. 2018).

Location (latitude, longitude)	Species/species group	Median percentile	95% Confidence intervals	Nights surveyed	Reference range size
50.17, -5.12	<i>N. noctula</i>	39	33–41	7	8,120
50.17, -5.12	<i>P. pipistrellus</i>	75	34–91	7	12,429
50.73, -3.53	<i>N. noctula</i>	51	45–56	7	8,129
50.73, -3.53	<i>P. pipistrellus</i>	77	23–80	7	12,238

Enfin, deux graphes sont produits et illustrent la répartition de l'activité des différentes nuits d'enregistrements. On remarque que systématiquement, l'activité d'une espèce durant une nuit est représentée selon son rang dans le référentiel (*bat activity level*) et jamais selon l'activité "brute" mesurée.

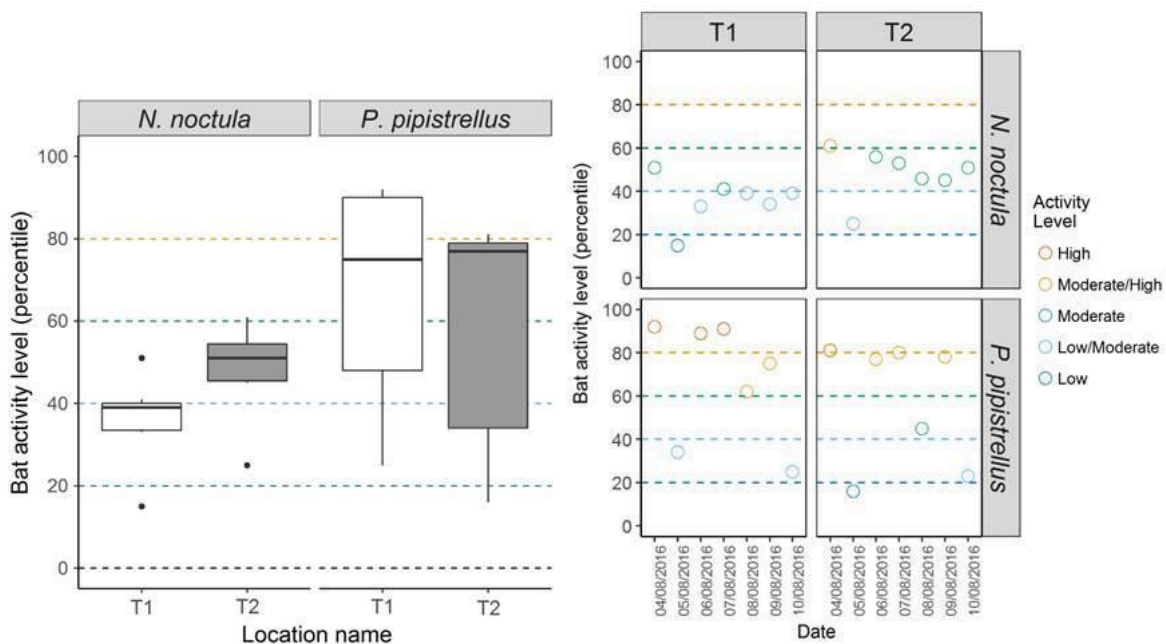


Figure 2 (gauche) : différences dans l'activité des chauves-souris entre les détecteurs statiques (T1 et T2). Les lignes pointillées indiquent les seuils des catégories d'activité des chauves-souris (c'est-à-dire faible activité : 0 à 20e centile, activité faible à modérée : 21e à 40e centile, etc.). (droite) : niveau d'activité (percentile) des chauves-souris enregistré chaque nuit pendant l'étude, réparti par emplacement (ici, T1 et T2) et par espèce (Lintott et al., 2018).

Trois filtres sont proposés pour sélectionner des nuits "comparables" dans la base de données :

- un filtre spatial (100 km², 200 km² ou tout le Royaume-Uni, à choisir par l'utilisateur) ;
- un filtre temporel (sélection des données uniquement 30 jours avant et 30 jours après la date de la nuit considérée) ;
- un filtre sur le type de détecteur.

Les auteurs envisagent aussi d'inclure un filtre sur le nombre d'années à considérer pour tenir compte des tendances des populations. Pour une population en déclin par exemple, la comparaison avec des données anciennes aura tendance à sous-estimer l'importance du site d'étude. Il est proposé dans ce cas de se limiter une période de référence de 3 ans (NB : cette option n'était pas encore implémentée dans Ecobat au moment de la publication de Lintott et al., 2018).

2.2.1.3. *Découpage spatial et saisonnier*

Comme décrit ci-dessus, les données saisies sont comparées aux autres données disponibles dans un buffer de 100 km², 200 km², ou sur l'ensemble des données sans buffer, et dans une période de 30 jours avant à 30 jours après la date de la nuit. Un filtre peut aussi être activé sur le type de détecteur.

Les auteurs recommandent qu'au moins 200 nuits soient utilisées pour la comparaison, quitte à étendre le range géographique ou temporel si besoin.

Cette question de la sélection d'une série de nuits représentatives aux niveaux tant géographiques que temporels implique que le référentiel sera différent pour chaque étude (puisque basé sur un jeu de données adapté à chaque comparaison). Techniquement, la mise en oeuvre pratique d'une telle solution nécessite qu'il existe une plateforme online pour le questionnement du référentiel, qui se recalcule à chaque fois en fonction des filtres appliqués.

2.2.1.4. *Echelle*

L'échelle d'activité est divisée en 5 classes : faible, faible à modérée, modérée, modérée à élevée, élevée. Les 4 valeurs pivots qui définissent ces classes sont les percentiles 20, 40, 60 et 80 (tableau suivant).

Tableau 3 : Échelle d'activité selon le référentiel Ecobat. Source : NaturScot et al. (2021).

Percentile	Bat activity
81 to 100	High
61 to 80	Moderate to High
41 to 60	Moderate
21 to 40	Low to Moderate
0 to 20	Low

2.2.1.5. *Autre information*

La plateforme permettant d'utiliser ce référentiel est disponible à l'adresse suivante : [Bat recording tools — Mammal Society](#).

2.2.2. France - référentiel Vigie-Chiro/ACTICHIRO

2.2.2.1. Zone géographique et auteurs

En France, plusieurs groupes sont actifs dans la récolte de données et dans la création de référentiels d'activité. Un premier référentiel (ACTICHIRO) a été élaboré dans le cadre d'un mémoire (Haquart, 2013) puis a été déployé à plus large échelle par l'équipe de chiroptérologues du Musée National d'Histoire Naturelle de Paris dans le cadre du programme de sciences citoyennes Vigie-Nature avec la plateforme Vigie-Chiro (Bas et al., 2020).

2.2.2.2. Principe général

Sur base du travail de Haquart (2013), Bas et al. (2020) ont proposé un référentiel qui se base sur le nombre de contacts (exprimés en séquences de 5 s) par nuit. Les données sont récoltées sur des ensembles de nuits complètes mais l'activité est définie pour chaque nuit individuelle (pas de moyenne). La base de données utilisée pour la comparaison est une vaste base de données enrichies notamment par des données enregistrées par des citoyens (plateforme Vigie-Chiro). Le référentiel est valable par espèce ou groupe d'espèces. L'identification des données est automatique à partir du programme Tadarida et aucune validation manuelle systématique n'est réalisée à notre connaissance.

2.2.2.3. Découpage spatial et saisonnier

Plusieurs référentiels sont proposés avec diverses échelles de comparaison :

- Par région : France en totalité, Rhône-Alpes, Centre, Corse, Ile-de-France, Méditerranée, etc ;
- Par habitat : type de forêts (feuillus, conifères, urbaine, landes ligneuses), types de cultures (céréales, colza, maïs, pelouses, prairies, etc), type de bâtis (diffus, dense), type de milieu aquatique ;
- Par altitude : six classes avec des valeurs pivots à 500, 1.000, 1.500, 2.000, 2.500 m d'altitude.

Environ 30 référentiels sont proposés pour chaque saison (printemps, été, automne). Bas et al. (2020) recommandent d'utiliser d'abord le référentiel national car, d'une part, il est plus robuste (nombre de données élevé), et d'autre part, il est plus pertinent sur des thématiques de conservation qui concernent la France entière.

2.2.2.4. Echelle

Chaque référentiel utilise 4 classes : niveau faible, moyen, fort et très fort avec des valeurs pivot de percentiles 25, 75, 98. Nous n'avons pas trouvé d'information concernant le paramètre statistique (médiane, moyenne, autre ?) à utiliser pour réaliser la comparaison dans le cas où plusieurs valeurs sont collectées, par exemple sur plusieurs nuits d'enregistrement.

2.2.3. France - référentiel du groupe mammalogique breton

2.2.3.1. Zone géographique et auteurs

Barbosa et al. (2021) ont créé un référentiel sur base d'environ 3.000 nuits complètes sur 422 sites sur une période de 2013 à 2020 pour les régions de Bretagne et de Loire-Atlantique soit environ 35.000 km².

2.2.3.2. Principe général

Tout comme pour le référentiel Vigie-Chiro-ACTICHIRO, l'unité retenue est le nombre de contacts (exprimés en séquences de 5 s) par nuit avec une identification automatique de *Tadarida* sans validation manuelle.

Plusieurs sélections sont effectuées sur le jeu de données afin de créer un référentiel sur une base solide. D'abord, le référentiel n'est développé que pour certaines espèces qui sont jugées fréquentes et/ou associées à un enjeu dans la zone d'étude. Il s'agit de la barbastelle d'Europe, du grand rhinolophe, du murin de Natterer, de l'oreillard gris, de la pipistrelle commune, la pipistrelle de Nathusius et la sérotine commune. Ensuite, les enregistrements au SM3Bat ont été écartés car ils contiennent probablement une large proportion d'enregistrements réalisés en hauteur, qui ne représentent que 6% des données totales à disposition du groupe. La position du micro par rapport au sol a un effet très significatif sur le niveau d'activité, car l'activité des chauves-souris est systématiquement plus faible pour les écoutes en hauteur en comparaison avec les enregistrements réalisés à proximité du sol. Les détecteurs pris en compte pour la construction du référentiel sont les SM2Bat, les Audiomoth, les Batlogger et les SM4Bat, à une hauteur toujours inférieure à 2 m du sol.

Les auteurs du référentiel ont analysé l'effet de certaines variables explicatives potentielles sur l'activité des chauves-souris comme la température, les précipitations et la vitesse du vent. Sans surprise, un effet significatif a été trouvé avec la température et les précipitations. Les auteurs ont décidé d'écarter ce potentiel biais systématique en excluant du référentiel les données des nuits caractérisées par une température inférieure à 3°C ou un total de précipitations supérieur à 9 mm. De plus, ils ont constaté que la latitude, la longitude et la saison ont également un effet significatif sur l'activité. Ils suggèrent donc un découpage spatial et saisonnier. Le découpage saisonnier est déjà appliqué dans leur référentiel (section suivante).

2.2.3.3. Découpage spatial et saisonnier

Un découpage saisonnier en trois périodes est proposé :

- 01/04-15/06 : gestation ;
- 16/06-31/08 : mise bas et élevage des jeunes ;
- 01/09-15/11 : migration.

2.2.3.4. Echelle

Les valeurs pivot sont basées sur le référentiel national français, mais avec une valeur pivot supplémentaire à 90 %, qui divise la classe "75-98 % - activité forte" en une classe "75-90 % - activité assez forte" et une classe "90-98 % - activité forte" :

- P0 : activité nulle ;
- P1-25 : activité faible ;
- P25-75 : activité moyenne ;
- P75-90 : activité assez forte ;
- P90-98 : activité forte ;

- >P98 : activité très forte.

Le paramètre statistique suggéré par les auteurs pour réaliser la comparaison en cas de données multiples semble être la moyenne de l'activité sur toutes les nuits enregistrées ou la comparaison nuit par nuit.

2.2.3.5. Autre information

Les auteurs de ce référentiel proposent une représentation graphique des résultats intéressante (figure suivante). Sur cette figure, le niveau d'activité de chaque espèce est représenté par des points reliés par des segments sur un diagramme circulaire de type "rose des vents". Plus l'activité est forte, plus le point est situé vers l'extérieur du diagramme. L'avantage est de permettre en un coup d'œil d'évaluer le niveau d'activité de chaque espèce. Un inconvénient est que ce niveau n'est représenté que par une seule valeur (probablement la moyenne), ce qui ne permet pas d'avoir une idée de la variabilité de cette activité sur le site étudié, contrairement aux boîtes à moustache utilisées dans la représentation des résultats Ecobat par exemple. Par ailleurs, avec ce type de représentation, l'ordre des espèces dans la roue influence (et donc peut potentiellement biaiser) l'impression visuelle et donc l'interprétation des résultats.

Profil d'activité chiroptérologique - référentiel breton

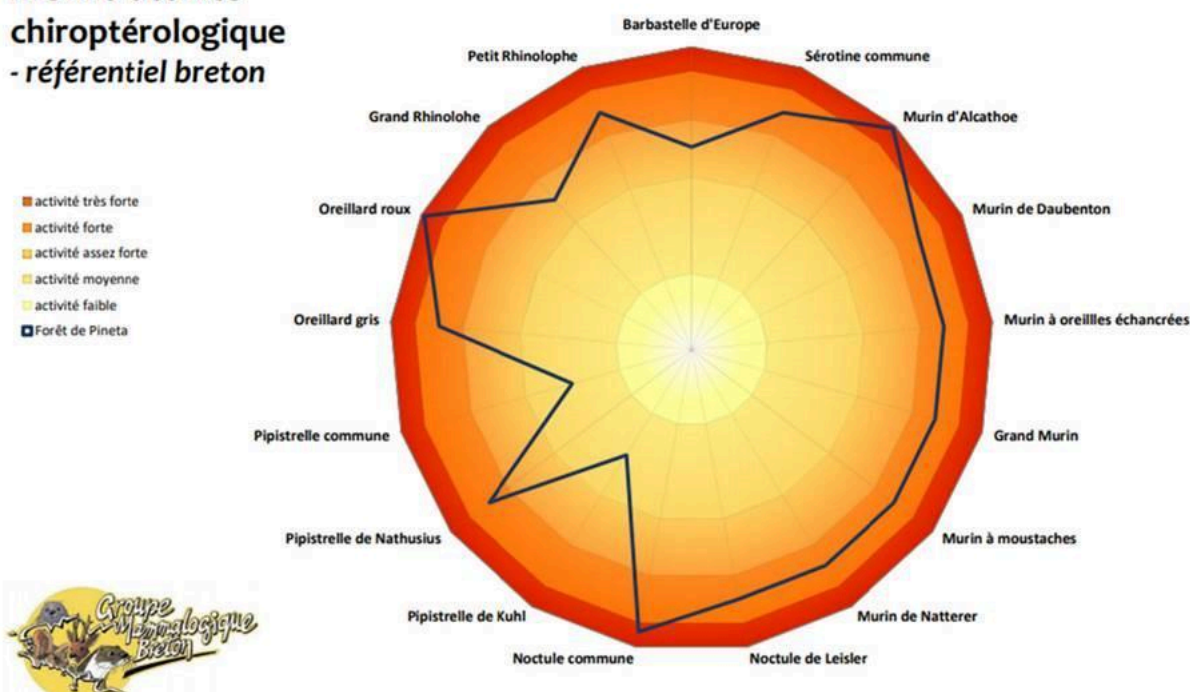


Figure 3 : Exemple de présentation de résultats avec le référentiel du groupe mammalogique breton (Barbosa et al., 2021).

2.2.4. France - Bureau d'étude Encis

2.2.4.1. *Zone géographique et auteurs*

Le bureau d'étude Encis, en France, a créé son propre référentiel interne (Labouré et al., 2022). Le territoire concerné par ce référentiel s'étendrait, à priori, à la France entière (31 sites sans localisation géographique fournie).

2.2.4.2. *Principe général*

Les données sont récoltées sur des nuits entières ou sur des points d'écoute ponctuels.

Concernant leur protocole d'enregistrement par points d'écoute (qu'ils nomment "écoutes ponctuelles actives"), il consiste en des séances de 10 minutes d'enregistrement sur généralement 10 points d'écoute. Ses séances sont répétées en moyenne 11 fois par site entre mi-mars et mi-octobre. Ce protocole semble assez similaire à celui de CSD, issu lui-même des recommandations du SPW-ARNE, à deux différences près : (1) les points d'écoute durent 10 min et pas 5 min; (2) il semble que l'activité ne soit pas enregistrée lors des déplacements entre les points d'écoute.

Pour tous les protocoles, l'unité de mesure de l'activité est le contact de 5 s. Une correction de l'activité est apportée pour intégrer la distance de détection en fonction de l'espèce et du milieu, selon les valeurs renseignées par Barataud (2020). Cela permet de combiner les données d'activité de toutes les espèces et de calculer un niveau d'activité "global" pour chaque site d'étude. La figure suivante illustre ces paramètres selon Barataud en 2020.

L'activité globale d'une nuit est résumée par un nombre de contacts par heure pour les relevés par points d'écoute et en nombre de contacts par nuit pour les enregistrements en continu.

Tableau 4 : intensité d'émission, distance de détection et coefficient de détectabilité de diverses espèces en fonction du milieu (Barataud, 2020)

Espèce		Milieux ouverts et semi ouverts		Sous-bois	
Nom vernaculaire	Nom scientifique	Distance de détection (m)	Coefficient de détectabilité	Distance de détection (m)	Coefficient de détectabilité
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00	5	5,00
Rhinolophe sp.	<i>Rhinolophus sp.</i>	10	2,50	10	2,50
Murin à oreilles échanquées	<i>Myotis emarginatus</i>	10	2,50	8	3,13
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50	10	2,50
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50	10	2,50
Murin de Brandt	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50	10	2,50
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	15	1,67	10	2,50
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	15	1,67	8	3,13
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	15	1,67	10	2,50
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67	15	1,67
Petit Murin	<i>Myotis blythii</i>	20	1,25	15	1,67
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	20	1,25	15	1,67
Oreillard sp.	<i>Plecotus spp.</i>	20	1,25	5	5,00
Milieu ouvert et semi-ouvert : durée 4 à 6 ms Sous-bois : durée < 4 ms					
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00	20	1,25
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00	25	1,00
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00	25	1,00
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00	25	1,00
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83	25	1,00
Oreillard sp.	<i>Plecotus spp.</i>	40	0,63	20	1,25
Milieu ouvert et semi-ouvert : durée >6 ms Sous-bois : durée 4 à 6 ms					
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,63	30	0,83
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,63	40	0,63
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50	50	0,50
Sérotine isabelle	<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50	50	0,50
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50	50	0,50
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31	80	0,31
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25	100	0,25
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17	150	0,17
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17	150	0,17

Niveau d'intensité d'émission : Très faible à faible / Moyen / Fort / Très fort

Plusieurs faiblesses sont à noter dans le rapport qui présente ce référentiel, comme par exemple l'absence d'analyses statistiques dans la méthodologie, l'absence d'analyse de sensibilité ou l'absence de mise en perspective avec d'autres référentiels décrits dans la littérature. De plus, aucun découpage spatial ou temporel n'est effectué.

2.2.4.3. Découpage spatial et saisonnier

Aucun

2.2.4.4. Echelle

Labouré et al. (2022) ont défini des classes d'activité pour les trois méthodes d'échantillonnage : écoutes ponctuelles actives, écoutes automatiques en hauteur et écoutes automatiques au sol. Les seuils sont basés sur des percentiles de nombres de contacts. Après plusieurs essais, ils concluent qu'une division en 5 classes selon les seuils de percentile 10, 25, 75, 90 est la méthode la plus pertinente. Le tableau suivant présente les valeurs absolues de niveau d'activité (nombre de contacts corrigés par heure) utilisées dans leur référentiel pour chaque classe.

Tableau 5 : Référentiel de Encis selon une division en quantiles, pour l'activité globale (toutes espèces confondues) en fonction de 3 protocoles d'enregistrement (Labouré et al., 2022). L'unité est le nombre de contacts par heure pour les écoutes ponctuelles actives et le nombre de contacts par nuit pour les écoutes automatiques.

Quantiles	Échelles d'activité	Écoutes ponctuelles actives	Écoutes automatiques en hauteur	Écoutes automatiques au sol
Inférieur à 10 %	Très faible	<= 1	<= 1	<= 280
Entre 10 % et 25 %	Faible	1 à 50	1 à 3	280 à 400
Entre 25 % et 75 %	Modéré	50 à 125	3 à 25	400 à 900
Entre 75 % et 90 %	Fort	125 à 175	25 à 65	900 à 1 200
Supérieur à 90 %	Très fort	> 175	> 65	> 1 200

2.2.5. Île de la Réunion

2.2.5.1. Zone géographique et auteurs

Amirault et al. (2022) ont créé un référentiel pour l'île de la Réunion sur base du référentiel national de Vigie-Chiro, soit environ 2.000 km².

2.2.5.2. Principe général

Les données se basent sur des nuits complètes mais plusieurs variables sont proposées et comparées. Il s'agit des variables suivantes :

- Nombre de nuits où l'espèce est présente ;
- Nombre de minutes positives ;
- Nombre de fichiers d'enregistrements de cinq secondes (contacts) ;
- Nombre de cris.

Chacune de ces méthodes de dénombrement ayant ses avantages et ses inconvénients, leur utilisation est généralement dépendante de contraintes contextuelles aux études.

Par ailleurs, trois indices statistiques sont discutés pour caractériser l'activité sur un site et la comparer au référentiel :

- Activité moyenne par nuit : somme des valeurs de comptage (cf liste ci-dessus) toutes espèces confondues, divisée par le nombre total de nuits échantillonnées ;
- Occurrence moyenne par nuit (pour une espèce) : nombre de nuits durant lesquelles l'espèce a été contactée, divisée par le nombre total de nuits échantillonnées ;
- Moyenne d'activité de l'espèce : nombre total de contacts divisé par le nombre de nuits où l'espèce a été contactée. Ce dernier paramètre permettrait s'abstenir de la notion de rareté de l'espèce.

2.2.5.3. Découpage spatial et saisonnier

Aucun découpage n'est proposé. Précisons que le territoire est petit et que le climat permet une activité des chauves-souris toute l'année selon un cycle probablement très différent du cycle de vie des chauves-souris européennes.

2.2.5.4. Echelle

Les seuils du référentiel sont identiques à ceux utilisés pour le référentiel Vigie-Chiro-ACTICHIRO :

- < percentile 25 = activité faible ;
- percentiles 25 à 75 : activité moyenne ;
- percentiles 75 à 98 : activité forte ;
- > percentile 98 : activité très forte.

2.2.6. Luxembourg - Gessner Landschaftsökologie

2.2.6.1. Zone géographique et auteurs

Au Grand-Duché de Luxembourg, un référentiel d'activité au sol a été développé par le bureau Gessner Landschaftsökologie. Nous en avons eu connaissance par la lecture d'une expertise sur les chauves-souris relative à un projet éolien au Grand-Duché de Luxembourg.

2.2.6.2. Principe général

Les données se basent sur des enregistrements de nuits complètes au sol avec des GSM-Batcorder (21 sites, 185 nuits complètes). L'unité utilisée est le nombre de contacts / nuit ou, au cas où plusieurs nuits d'échantillonnage sont réalisées, le nombre maximum de contacts durant une nuit d'enregistrement. Le bureau considère que cette unité est plus pertinente pour évaluer le risque de mortalité/effarouchement que la valeur moyenne par exemple si la durée des enregistrements est supérieure à 100 nuits.

La pipistrelle commune est traitée séparément des autres espèces et fait l'objet d'un référentiel propre. Les espèces du genre *Myotis* sont groupées, de même que les espèces du groupe des sérotines et noctules. Pour ces deux groupes, ainsi que pour la pipistrelle de Nathusius, un deuxième référentiel (distinct de celui pour la Pipistrelle commune) est proposé.

2.2.6.3. Découpage spatial et saisonnier

Aucun découpage spatial ni saisonnier n'est proposé.

2.2.6.4. Echelle

Le référentiel relatif à la pipistrelle commune compte 4 classes. À la différence des autres référentiels étudiés, la définition des valeurs pivots ne s'appuie pas sur des quantiles appliqués à un jeu de données de comparaison. Aucune justification n'est apportée concernant la définition de ces seuils. Ils proviennent vraisemblablement d'un avis d'expert. Les valeurs pivots des classes du référentiel pour la pipistrelle commune sont 100, 500 et 1.000 contacts par nuit. Le référentiel relatif aux autres espèces comporte 3 classes, dont les valeurs pivot sont 20 et 100 contacts par nuit. Ils sont présentés à la figure suivante.

Tabelle 4: Einteilung der Aktivitätsmessreihen aller Arten sowie der Gruppe *Ppip* in vier Kategorien anhand der am jeweiligen batcorder-Standort maximal in einer Nacht erfassten Anzahl an Rufsequenzen.

Kategorie	max. Anzahl Rufsequenzen
geringe Aktivität	0 – 99
mittlere Aktivität	100 – 499
starke Aktivität	500 - 999
sehr starke Aktivität	≥ 1000

Tabelle 5: Einteilung der Aktivitätsmessreihen der Gattung *Myotis*, der Gruppe *Nyctaloid* und der Gruppe *Pnat* in drei Kategorien anhand der am jeweiligen batcorder-Standort maximal in einer Nacht erfassten Anzahl an Rufsequenzen.

Kategorie	max. Anzahl Rufsequenzen
geringe Aktivität	0 – 19
mittlere Aktivität	20 – 99
sehr starke Aktivität	≥ 100

Figure 4 : Référentiels basés sur le nombre (maximum) de contacts de chauves-souris en une nuit, proposés par le Bureau Gessner (2015) Haut : référentiel pour la pipistrelle commune, Bas : référentiel pour le genre *Myotis*, le groupe des sérotines/noctules et la pipistrelle de *Nathusius*.

2.2.7. Wallonie - Bureau d'étude CSD

2.2.7.1. Zone géographique et auteurs

CSD Ingénieurs a développé un référentiel propre afin d'aider à l'évaluation interne des enjeux relatifs aux chauves-souris sur divers projets, principalement éoliens. Il se base sur un ensemble de données récoltées en Wallonie.

2.2.7.2. Principe général

Attention : ce référentiel a été construit sur base d'un ensemble de données qui n'ont pas toutes été rendues publiques dans des études d'incidences sur l'environnement. Une partie de ces données est confidentielle (étude d'incidences en cours de réalisation ou avortée suite à l'abandon du projet par le promoteur). La question des modalités d'intégration de ces données à l'élaboration éventuelle d'un référentiel officiel doit être évaluée au regard du droit commercial et environnemental.

Le protocole d'échantillonnage consiste en un cheminement d'environ 3h à travers un site, avec des arrêts de 5 min sur des "points d'écoute" jugés favorables aux chauves-souris (haies, lisières, etc.). Le cheminement débute au coucher du soleil. Les chauves-souris sont enregistrées en continu durant tout le cheminement à l'aide d'un Batlogger M. Le cheminement est généralement réalisé en voiture (à faible allure), mais des transects à pied sont réguliers, dépendant de l'accessibilité des chemins et des points d'écoute. Lors des arrêts aux points d'écoute, l'opérateur sort de la voiture.

La base de données comprend des enregistrements réalisés dans toute la Wallonie entre 2010 (surtout à partir de 2015) et 2025. Ce référentiel s'appuie sur environ 100 sites, chacun prospecté pendant 9 à 12 soirées d'environ 3h d'avril à octobre.

L'unité de ce référentiel est l'activité moyenne des chauves-souris par point d'écoute sur un site. Elle est définie par la formule suivante :

$$Activité\ moyenne = \frac{N_{contacts}}{N_{relevés} * N_{PE}}$$

où $N_{contacts}$ est le nombre total de contacts, toutes espèces confondues, cumulés sur tous les relevés (9 ou 12), $N_{relevés}$ est le nombre de relevés et N_{PE} le nombre de points d'écoute. Les données (activité moyenne) sont comparées à un histogramme qui reprend l'ensemble des données du référentiel. Chaque barre verticale de ce graphique correspond à un site inventorié pendant une saison et la métrique varie entre ~1 et ~30 contacts / relevé*point d'écoute. Les espèces ne sont pas séparées dans ce graphique, il s'agit d'une activité globale pour toutes les chauves-souris (toutes espèces confondues).



Figure 5 : Concept de référentiel sur base des points d'écoute actifs par CSD Ingénieurs : le site étudié (représenté par la barre verte) est comparé aux autres sites du référentiel (en bleu)

2.2.7.3. Découpage spatial et temporel

À ce stade, aucun découpage n'a été réalisé.

2.2.7.4. Echelle

Trois classes sont utilisées (activité faible, moyenne, forte), avec des valeurs pivots de percentile 25 et 75.

2.2.7.5. Limites

Ce référentiel a été développé par CSD faute de mieux afin de pouvoir caractériser, autant que possible, le niveau d'activité des chauves-souris sur des sites visés par des projets éoliens. Il présente plusieurs sources de biais qu'il convient d'analyser en détail :

- Les relevés sont souvent réalisés en voiture, mais parfois aussi à pied ou à vélo. Or, le nombre total de contacts considéré ici comprend les points d'écoute mais aussi les contacts enregistrés sur les trajets entre les points d'écoute successifs. De ce fait, il y a généralement beaucoup plus de contacts lorsque les relevés sont réalisés à pied

car l'opérateur se déplace sur une durée plus longue, avec moins de bruits parasites qu'avec un véhicule et en général, dans la pénombre (moins d'effarouchement des chauves-souris). L'information sur le mode de déplacement de l'opérateur, qui pourrait permettre de corriger ce biais, n'est généralement pas disponible.

- Les relevés sont réalisés durant les trois premières heures de la nuit et ne couvrent donc pas totalement le pic d'activité de certaines espèces comme les murins ou les oreillards qui émergent plus tardivement, ni le pic secondaire d'activité de plusieurs espèces en fin de nuit.
- Toutes les espèces sont considérées ensemble, par site, sans corriger l'activité pour les espèces qui émettent peu et/ou qui possèdent une faible détectabilité (oreillards, rhinolophes, certains murins) par rapport à celles qui émettent fort et que l'on perçoit de plus loin. Pour résumer, ce référentiel reflète très largement l'activité des pipistrelles communes. L'activité des autres espèces est finalement peu évaluée.
- Sur une saison, le temps d'enregistrement est faible : $(9 \text{ à } 12) \times 5 \text{ min} = 45 \text{ à } 60 \text{ min}$ par point d'écoute. Si on considère comme unité spatiale non pas le point d'écoute mais bien le site, on arrive à $9 \text{ à } 12 * \sim 3\text{h} = 27 \text{ à } 36 \text{ h}$ d'enregistrement au total. Cet échantillonnage paraît assez faible pour évaluer correctement le niveau d'activité (plutôt faible ou plutôt fort) car celle-ci peut être très variable d'une nuit à l'autre ou d'une heure à l'autre.

2.3. Synthèse

Le tableau suivant résume les caractéristiques principales de 7 référentiels décrits ci-dessus pour préparer l'élaboration d'un référentiel en Wallonie.

Tableau 6 : Synthèse des caractéristiques de 6 référentiels d'activité acoustique des chauves-souris jugés pertinents pour préparer l'élaboration d'un référentiel en Wallonie.

Zone géographique	Nom	Échantillonnage	Type de détecteur	Unité de mesure de l'activité	Valeur statistique retenue pour décrire l'activité en cas d'échantillonnage répété	Découpage spatial	Découpage saisonnier	Découpage par espèce	Nombre de classes	Seuils des classes (percentiles pivots)
Royaume-Uni	Ecobat	Nuit complète	Tous (possibilité de filtrer)	Nombre de contacts par espèce et par nuit	Distribution des valeurs des différentes nuits : représentation via boîte à moustache ou nuage de points	Buffer de 100 km ² autour du point échantillonné (adaptable pour avoir >= 200 nuits complètes)	Fenêtre mobile par rapport à la date de la nuit à comparer -30j - + 30 j	1 référentiel pour chaque espèce	4	20-40-60-80
France	VigieChiro - ACTICHIRO	Nuit complète	Tous	Nombre de contacts par espèce par nuit	Non spécifié.	1 référentiel national + des référentiels régionaux par habitat et par altitude	Printemps, été, automne	1 référentiel pour chaque espèce	4	25-75-98
Bretagne	Groupe mammalogique breton	Nuit complète, exclusion des nuits quand T < 3°C, P > 9 mm	Exclusion des SM3Bat	Nombre de contacts par espèce par nuit	Moyenne si plusieurs nuits. Représentation en étoile	Non, mais effet significatif de la latitude + longitude, -> pertinence d'un découpage	01/04-15/06 : gestation 16/06-31/08 : mise bas et élevage des jeunes 01/09-15/11 : migration	1 référentiel pour chaque espèce	5	25-75-90-98
France	Encis	Nuit complète au sol, nuit complète en hauteur, point d'écoute	Tous	Nombre de contacts par nuit, toutes espèces confondues (avec pondération selon coefficient de Barataud)	Moyenne de l'activité par heure (points d'écoute) ou par nuit (nuits complètes)	Non	Non	Toutes espèces confondues (avec facteur correctif)	5	10-25-75-90
Île de la Réunion	/	Nuit complète	/	Nombre de nuits où l'espèce est présente, Nombre de minutes positives, Nombre de contacts, Nombre de cris.	Activité moyenne Occurrence par nuit, Activité moyenne uniquement pour les nuits où l'espèce est présente	Non	Non	3 référentiels : Petit molosse, Taphien de Maurice et <i>Chiroptera sp.</i>	4	25-75-98
Luxembourg	Gessner Landschaftsökologie	Nuits complète	Batcorder	Nombre de contacts par nuit, par groupes d'espèces	Valeur maximale	Non	Non	3 référentiels : pipistrelle commune, murins et sérotines/noctules/Nathusius	4 pour la pipistrelle commune, 3 pour le groupe des Murins, le groupe des sérotines/noctules et la pipistrelle de Natusius	Le pivot des classes et un nombre absolu de contacts, pas des percentiles
Wallonie	CSD	Séances de ~3h, cheminement à pied, à vélo ou en voiture avec points d'écoute de 5 min	Batlogger M	Nombre de contacts moyen par point d'écoute, toutes espèces confondues	Moyenne sur 9 à 12 relevés	Non	Non	Toutes espèces confondues (sans facteur correctif)	3	25-75

2.4. Discussion avec le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris

Une petite équipe de chercheurs (dont Elise Sivault et Andreas Ravache) de l'équipe du CESCO - MNHN (Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation du Muséum National d'Histoire Naturelle) de Paris travaille actuellement à l'élaboration de recommandations pour la construction de référentiels d'activité chiroptérologique à destination des bureaux d'études européens. Un échange a été réalisé avec cette équipe d'abord puis avec leur collègue Yves Bas afin de bénéficier mutuellement de nos expériences respectives (notamment en matière de bibliographique). Nous avons ainsi pu poser une série de questions sur le processus d'élaboration du référentiel national français et discuter de certaines questions émanant de nos premières analyses. Les membres du MNHN ont singulièrement rapporté des retours d'expérience intéressants concernant les biais à considérer dans l'élaboration de référentiels, ainsi que certains choix méthodologiques.

Un premier biais concerne le paramétrage des détecteurs. Les paramétrages par défaut sont généralement prévus pour réduire l'enregistrement de bruits parasites non désirés. Par conséquent, ils impliquent *de facto* la perte de nombreux contacts. Une augmentation de la sensibilité d'un dispositif en jouant sur ses paramètres (sans changer le hardware) peut entraîner un doublement du nombre de contacts enregistrés (expérience rapportée par Yves Bas). Heureusement, dans les référentiels français, l'activité augmente généralement d'un facteur 3, 4 ou 5 entre 2 classes d'activité. Par conséquent, un doublement de l'activité qui résulte uniquement d'une sensibilité plus élevée du détecteur, n'est que rarement responsable d'un changement de classe d'activité, ce qui impacte finalement peu la lecture des résultats. Ce point d'attention suggère qu'il y a lieu d'être encore plus attentif au paramétrage des détecteurs à l'avenir. A minima, nous suggérons d'intégrer dans les bonnes pratiques de mentionner clairement pour chaque étude les paramétrages utilisés.

Un second élément est la manière de valider les identifications. Nous avons expliqué aux confrères français les faibles performances de SonoChiro pour identifier par exemple les espèces au sein du groupe sérotine/noctules. Ces faibles performances limitent les possibilités de produire un référentiel wallon pour ces espèces. Yves Bas a confirmé la difficulté des algorithmes de tri, notamment Tadarida, à identifier par exemple les sérotines communes dans des milieux semi-ouverts comme des allées forestières ou les clairières. Dans le cadre du programme français VigieChiro, une stratégie particulière a été employée pour limiter cette contrainte, c'est-à-dire pour réduire la part des contacts indéterminés dans les groupes des sérotines/noctules et des murins. Elle se base sur la présence ou non d'au moins un contact validé de l'espèce parmi les enregistrements du site considéré. Le ratio de la quantité de contacts sur l'ensemble des contacts du groupe d'espèces est calculé et est intégré dans la modélisation. Ce facteur de "poids" permet de pondérer les analyses en ne se limitant pas uniquement à l'ISp pour le calcul des probabilités de présence.

Un troisième biais potentiel est la métrique utilisée pour confronter des données au référentiel. Yves Bas a expliqué que faire une moyenne du nombre de contacts sur un grand nombre de nuits sur un site donné va toujours lisser l'activité et la faire tendre vers une classe d'activité "moyenne" du référentiel. Une solution envisagée est de regarder le nombre de nuits d'activité dans l'échantillon qui correspondent aux différentes classes d'activités, ce qui permet d'avoir une idée de la variabilité des nuits et des valeurs extrêmes en matière d'activité.

Concernant les périodes à considérer (découpage d'une année), il apparaît que beaucoup d'approches existent. Dans la dernière version du référentiel VigieChiro, un découpage par saisons a été proposé : printemps, été, automne.

Au sujet du découpage par habitats, il est ressorti de la discussion qu'il dépend de la question à laquelle l'utilisateur du référentiel souhaite répondre. Si la question est : "ce site présente-t-il un enjeu pour telle espèce à l'échelle wallonne ?", alors il n'y aurait pas de raison de faire un découpage par habitat selon ces experts, mais plutôt d'utiliser un référentiel le plus large possible. Si la question est différente, alors ils suggèrent de faire des sous-ensembles adaptés à la question, pour autant que chaque sous-ensemble comporte au moins 40 sites différents (idéalement au moins 500 sites). Ils insistent sur le fait qu'il s'agit bien d'un nombre de points de mesures différents (sites) et non d'un nombre de nuits. Il

est à noter qu'il n'est pas possible de respecter de telles valeurs pivots en Wallonie sur base du jeu de données disponible.



Partie 3 : Biais

3. Biais liés au matériel

3.1. Introduction

Les signaux d'écholocation des chauves-souris sont produits dans la gamme de sons ultrasoniques et peuvent être décrits selon différents critères comme les fréquences initiale, terminale et de maximum d'énergie, la durée du cri, etc. Ces sons peuvent être enregistrés par des détecteurs ultrasonores passifs et permettent à des logiciels automatiques de pré-tri (ou classificateurs) et aux validateurs l'identification et la validation d'espèces. Cette méthode de recensement, basée sur l'acoustique, permet généralement de recenser davantage d'espèces comparativement à des captures d'individus (p.ex. Hourigan et al., 2008; MacSwiney et al., 2008; O'Farrell & Gannon, 1999) et, malgré une analyse a posteriori chronophage, peut s'avérer être l'approche la moins coûteuse (Hourigan et al., 2008), tout en générant un dérangement des individus nettement inférieur à la capture. L'étude acoustique des chauves-souris est donc un moyen efficace pour évaluer la diversité spécifique de ces espèces nocturnes. Ces études reposent donc sur l'acquisition de données ultrasonores de qualité si l'on veut obtenir des résultats et des conclusions pertinentes.

Par ailleurs, il est important de noter que cette méthode de recensement présente ses propres limites et doit donc être considérée comme synergique plutôt que prépondérante aux autres approches. En effet, l'étude acoustique des chauves-souris ne permet par exemple pas de se rendre compte de l'abondance réelle en individus et donne plutôt un indice d'activité général basé sur le nombre de contacts sur une période de temps (ou de minutes positives selon la méthode de Haquart, 2015). Différents aspects de cette méthodologie peuvent constituer des facteurs de biais qui entachent l'interprétation et rendent délicate la comparaison. Le nombre de contacts, la durée des contacts et le temps total d'écoute peuvent être variables d'une étude à l'autre, ce qui influence, parfois de manière importante, les conclusions des études. Dans le même ordre d'idées, la performance de l'identification automatique peut varier selon le logiciel de traitement. Par ailleurs, des variations dans les résultats peuvent aussi être dues à la méthodologie, l'expérience du validateur et l'effort de validation. Dans la suite de ce rapport, nous présentons ces différences et proposons une standardisation pour l'exploitation des enregistrements ultrasonores.

Trois facteurs peuvent affecter directement la collecte des données sonores :

- i. La propagation du son dans l'air, influencé par l'environnement
- ii. Les caractéristiques intrinsèques des enregistreurs d'ultrasons et le dispositif d'enregistrement
- iii. L'écologie comportementale des chauves-souris.

S'il est possible de choisir la localisation des enregistreurs dans certaines études, dans d'autres contextes comme les EIE (Etudes d'Incidences sur l'Environnement), les prescriptions légales et réglementaires imposent un protocole de récolte des données assez cadré. La sélection d'un enregistreur approprié à chaque contexte d'étude offre une marge de manœuvre pour optimiser la collecte de données qualitatives.

À l'heure actuelle, de plus en plus d'enregistreurs ultrasonores sont disponibles sur le marché, se différenciant, outre par leur prix, par de nombreuses caractéristiques influençant directement la qualité des données récoltées. La technologie d'enregistrement de l'appareil (zero-crossing/division de fréquence ou enregistrement direct/full-spectrum), le micro directionnel ou omnidirectionnel, sa fréquence d'échantillonnage (en kHz) et le format d'enregistrement des sons (.wav, .raw, .wac, etc.) font notamment partie de ces caractéristiques. Ces différences ont le potentiel d'affecter des études acoustiques et leurs conclusions, comme le montraient déjà Fenton et al. (2000) et plus récemment Goodwin et al. (2024) et Kaiser et al. (2015).

Cette partie du rapport met en avant ces différences à travers des recherches bibliographiques et identifie les configurations et les paramètres des enregistreurs à privilégier. Comme explicité précédemment, nous en profiterons aussi pour souligner quelques points d'attention quant au post-traitement. Globalement, il est toujours important de considérer les objectifs et le contexte de l'étude pour choisir les appareils et les méthodologies de travail appropriés. L'objectif principal doit toujours être d'assurer une collecte de données fiable et des conclusions de qualité en faveur de la conservation de la nature. Dans ce même cadre, nous signalons l'existence d'un guide de recommandations quant aux pratiques de gestions des données acoustiques pour les professionnels, disponible sur le site d'Ecofirst¹. Par ailleurs, ce rapport s'inscrit dans un contexte d'évolution technologique constante. Il est essentiel d'en tenir compte, car de nouveaux appareils sont constamment mis sur le marché et des technologies plus (ou moins) performantes peuvent émerger.

3.2. Facteurs influençant la qualité et la quantité des données récoltées

3.2.1. Note préliminaire

La littérature référencée dans ce rapport compare les appareils/facteurs sur différentes bases. Selon les études, c'est la quantité de données (une donnée étant définie parfois différemment, comme par exemple le nombre de contacts de 5 secondes, le nombre de contacts de plus de 1 cri/pulse, etc.) (p.ex. Goodwin et al., 2024; Kaiser & O'Keefe, 2015), et/ou la probabilité de détection des cris d'écholocation par le micro (p.ex. Adams et al., 2012), et/ou le nombre d'espèces correctement identifiées (p.ex. Goodwin et al., 2024) qui est parfois considéré comme un proxy de la qualité des données. Par exemple, l'étude menée par Adams et al. (2012), témoigne de différences importantes du taux de détection des différents enregistreurs. In fine, ces différences peuvent mener à des listes d'espèces différentes entre appareils. Par ailleurs, l'étude menée par Goodwin et al. (2024) visant à comparer deux micros, le SMM-U1 et SMM-U2 de Wildlife acoustics, confirme que malgré une quantité similaire de séquences enregistrées, les résultats diffèrent quant à la capacité d'identification des espèces avec davantage de contacts classés jusqu'à l'espèce pour le SMM-U2 et plus de sons non identifiables pour le SMM-U1. Cela s'explique assez facilement par le fait que si les deux enregistreurs sont capables d'enregistrer autant de séquences, le SMM-U2 génère des enregistrements de meilleure qualité (fréquence initiale et terminale, durée des cris, etc.). Il permet ainsi une meilleure identification des espèces et facilite grandement le travail de validation. Chacun de ces trois facteurs (quantité de données, taux de détection et identification correcte) sont considérés comme de bons proxy complémentaires de la qualité des données dans ce rapport.

3.2.2. Configuration technique

Par configuration technique, nous comprenons ce qui relève du matériel électronique à proprement parler, des boîtiers, et par extension des recommandations quant à l'installation de ce matériel.

3.2.2.1. Batterie

De manière assez évidente, l'utilisation de piles plus ou moins performantes affectera la longévité du déploiement de l'appareil. Veuillez à toujours vous référer au manuel de votre appareil et à acheter du matériel de qualité auprès de fournisseurs de matériel électronique

1

<https://www.ecofirst.eu/fr/nos-publications/fr-recommandations-generales-en-matiere-de-gestion-des-donnees-acoustique-pour-les-professionnels>

réputés. Si votre appareil est compatible avec des piles et/ou des batteries rechargeables, nous vous conseillons de vous assurer de leur capacité de charge avant le déploiement. En effet, selon son usage et l'environnement dans lequel elles sont employées, leur capacité de charge peut-être grandement affectée. Il peut être utile d'avoir des piles de réserve sur le terrain en cas de pépin.

3.2.2.2. Carte SD

Les cartes SD peuvent influencer la longévité de la batterie. De manière générale, une carte SD avec une écriture rapide nécessite plus de batterie qu'une carte SD à écriture lente mais prendra plus de temps à écrire les informations, ce qui peut être délétère pour l'étude. Nous recommandons d'acheter des cartes SD auprès d'un détaillant de matériel électronique ou photographique réputé, notamment pour éviter les cartes SD défectueuses ou contrefaites. Certains manuels d'enregistreurs préconisent des marques spécifiques et une vitesse d'écriture minimale qu'il convient de prendre en considération (p.ex. la vitesse d'écriture minimale est de 4MB/s (catégorie C4) pour le SMMini Bat 2 mais ne tire aucun bénéfice d'une vitesse plus grande !). Par ailleurs, avant un déploiement, il est important de s'assurer que la carte SD a bien été formatée et est fonctionnelle. Le reformatage permet, outre la suppression des données antérieures, de réinitialiser la structure de la carte SD et réduit ainsi la probabilité de corruption des données. Certains détecteurs plus récents permettent le reformatage de la carte SD directement depuis l'appareil. Prévoyez également une carte SD supplémentaire en cas de problème sur le terrain.

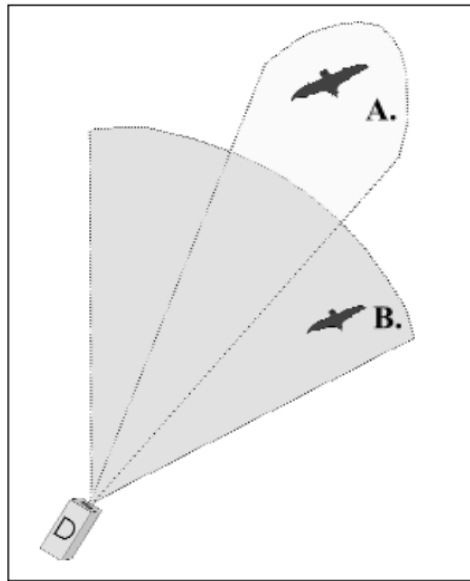
3.2.2.3. Micro omnidirectionnel vs directionnel

Il existe un compromis entre la directionnalité d'un microphone et la distance de détection des chauves-souris. Les micros directionnels permettent une meilleure localisation spatiale des individus détectés et peuvent être particulièrement utiles si l'on veut avoir une idée très précise du passage de chauves-souris à un endroit précis. L'angle de détection réduit implique une détection globale des espèces réduite. Grâce à leur spectre de détection très précis, ces micros permettent d'enregistrer plus facilement uniquement les ultrasons d'intérêt et d'obtenir un Signal-to-Noise ratio élevé (SNR ; voir partie "*Seuil de déclenchement (trigger threshold) & Signal-to-Noise Ratio (SNR)*") (Fraser et al., 2020). A contrario, les micros omnidirectionnels permettent de balayer un plus grand volume autour de l'enregistreur et offrent ainsi une surveillance d'une plus grande partie du site. Ils sont cependant généralement moins précis sur la localisation de la chauve-souris. À activité égale, un micro directionnel risque d'enregistrer moins de séquences qu'un micro omnidirectionnel. La figure 6 tirée de Brigham et al. (2004) illustre ces propos. Il est donc une fois de plus important de comprendre le contexte de l'étude et ses objectifs, les micros directionnels et omnidirectionnels répondant à des questions différentes. Il est à noter que pour les micros à membrane/condensateur, plus les micros sont petits, plus ils sont omnidirectionnels, comme explicité dans Adams et al. (2012). Il convient également de dire que le déploiement influence fortement la directionnalité d'un micro. En effet, l'utilisation d'un cône, d'un tube de protection ou d'un réflecteur par exemple contraint la réception des émissions par le micro.

Dans le cadre d'inventaires réputés exhaustifs (p.ex. inventaire pour des EIE), nous préconisons l'emploi de **micros omnidirectionnels pour des études en acoustique passive**.

Pour le matériel et les micros en particulier, il est important de s'assurer de leur bon fonctionnement avant le déploiement. La détérioration du matériel (notamment dépendante des conditions météorologiques) a potentiellement un effet sur la quantité et la qualité des enregistrements collectés. En ce qui concerne les micros, nous conseillons de mettre en place un système (numéro d'identification par exemple) permettant de tracer individuellement chaque micro (permettant de savoir quel micro pose un problème le cas échéant) et de faire des tests en début et en fin de saison. Ces tests doivent idéalement vérifier la bonne

capacité de réception du micro pour l'ensemble de la gamme de fréquence utilisée par les chauves-souris (soit environ 20-150 kHz en Belgique).



*Figure 6 : La précision du microphone directionnel permet de mieux localiser une chauve-souris dans l'habitat environnant (A.) mais implique un volume prospecté plus faible comparativement au microphone omnidirectionnel (B.). Il existe un compromis entre la portée, l'angle et la directivité.
Image tirée et adaptée de Brigham et al. (2004)*

3.2.2.4. Déploiement, protection et usage du matériel

De multiples études se sont concentrées sur le déploiement des enregistreurs, notamment sur la hauteur et l'orientation des micros. En effet, il existe de nombreuses manières d'installer le matériel d'écoute, impactant potentiellement la qualité et la quantité des enregistrements collectés. La figure 7, tirée de Fraser et al. (2020), illustre quelques exemples de déploiements différents.



Figure 7 : Tiré de Fraser et al. (2020). L'image (a) montre un détecteur de chauves-souris attaché à un arbre avec un câble de verrouillage et un microphone élevé sur une perche extensible ; la zone d'échantillonnage est sous la canopée et comprend un sous-étage forestier ouvert et le petit ruisseau que l'on voit à l'arrière-plan © Alexander Silvis. L'image (b) montre un microphone installé sur une perche ; la zone d'échantillonnage se trouve au-dessus de la canopée © Darrian Washinger. L'image (c) montre un microphone déployé sur un poteau de clôture avec le détecteur de chauves-souris au bas du poteau © Erin Swerdfeger. L'image (d) montre une station de surveillance acoustique à long terme comprenant un microphone directionnel, un détecteur et une alimentation électrique dans un boîtier résistant aux intempéries, accompagné d'un panneau solaire ; ce système comprend le téléchargement de données à distance à l'aide de la technologie cellulaire © Alexander Silvis.

Une étude menée en forêt par Weller & Zabel en 2002 démontre qu'une orientation optimale vers le moins d'obstacles conduit jusqu'à 44% de détections en plus. De la même manière, les appareils placés à 1,4 m de hauteur comptaient près de 30% de détections supplémentaires (une détection correspond à 1 signal minimum) par rapport à des enregistreurs placés au sol (Weller & Zabel, 2002). Une autre étude, menée sur les terrains vastes de l'Indianapolis International Airport, ne montre aucune différence entre deux hauteurs différentes (2 mètres vs 5 mètres) (Kaiser & O'Keefe, 2015). Le contexte paysager très différent est potentiellement à la source de ces différences. Chaque étude doit donc être comprise dans son contexte. Globalement, ces études nous permettent de mettre en lumière l'importance de considérer le contexte paysager dans lequel les déploiements sont réalisés. Pour éviter les bruits parasites, il est conseillé d'avoir une sphère d'un mètre de rayon libre de tout obstacle autour du micro. Lors d'inventaires en forêt ou en milieu bocager, il est conseillé de placer les appareils en hauteur (au-dessus de la végétation de sous-étage) et dirigé vers les espaces plus ouverts (layons, chemins, etc.). À titre d'exemple, Fraser et al. (2020) recommande une installation à minimum 3 mètres pour améliorer le Signal-to-Noise ratio (SNR ; voir partie "Seuil de déclenchement (trigger threshold) & Signal-to-Noise Ratio (SNR)"), réduire les potentielles distorsions des échos et augmenter la capacité de détection verticale d'un micro omnidirectionnel. Les auteurs expliquent également l'importance de bien connaître son matériel et de placer les détecteurs au-dessus de surfaces qui amortissent les échos plutôt que de les réfléchir. Dans la même idée, il est évidemment primordial de considérer sa question de recherche et notamment les espèces visées qui peuvent se localiser dans des endroits plus ou moins denses en végétation. Il est également recommandé de prendre systématiquement une photo de l'endroit de déploiement.

Par ailleurs, il est généralement conseillé de protéger les enregistreurs des intempéries avant de les déployer. Si la plupart des appareils ont des protections intégrées (généralement des boîtiers étanches entourant le matériel électronique) qu'il n'est pas prévu d'enlever, il est important de noter un potentiel effet de ces protections sur la qualité sonore. L'étude menée par Sprong & Seamark (2012) a évalué différents systèmes de protection sur le détecteur actif Pettersson D240X. Les résultats montrent que la distance de détection diminue à 16m et à 14m respectivement quand le micro se trouve au fond d'un tube en PVC coudé ou face à une plaque en plexiglas qui joue un rôle de réflecteur, comparativement au témoin sans boîtier qui enregistre à une distance allant jusqu'à 18m. Par ailleurs, une étude menée avec des enregistreurs AudioMoth, permettant des configurations plus souples et personnalisées, notamment au niveau de leur protection, a mis en évidence ces mêmes différences. Une étude acoustique a par exemple testé différents sacs de protection autour des AudioMoth (de différentes tailles et attachés différemment). Les résultats témoignent d'un effet de la protection avec une introduction de faibles atténuations à des fréquences basses (en-dessous de 5 kHz) et d'effets plus complexes et inattendus, à haute fréquence, causés potentiellement par les plis des sacs (Osborne et al., 2023).

3.2.3. Paramétrisation

Outre la configuration technique, la paramétrisation interne, incluant notamment les questions de fréquence et de seuils à sélectionner, influence de manière potentiellement significative la quantité des enregistrements réalisés. Cet aspect relève davantage d'une compréhension globale du fonctionnement des appareils que d'une réelle différence d'efficacité de ceux-ci. La figure 8 montre un exemple de ces paramètres pour le SM Mini Bat2.

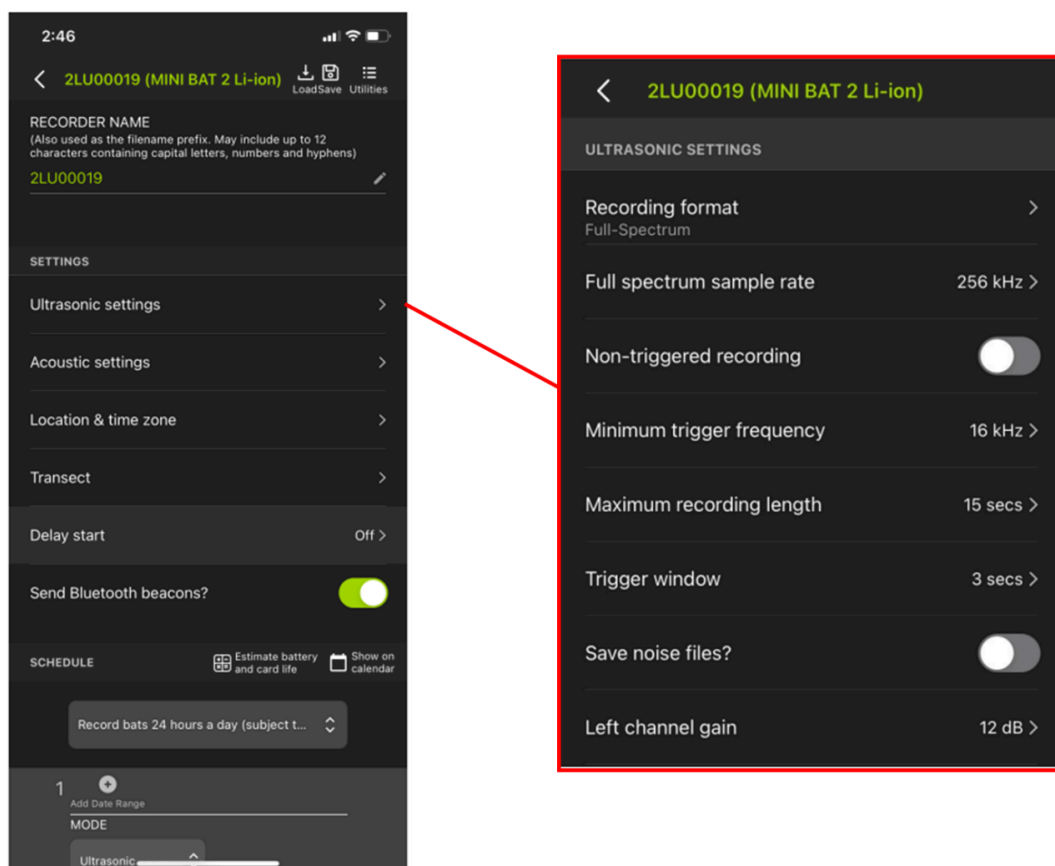


Figure 8 : Exemple de paramètres sur le SM Mini Bat2 avec en rouge un zoom sur les paramètres ultrasoniques (tiré du guide Song Meter Mini Bat 2 User Guide :

https://www.wildlifeacoustics.com/uploads/user-guides/Song_Meter_Mini_Bat_2-User_Guide-2024-02-15-en.pdf)

Cette partie du rapport vise donc à fournir les éléments-clés pour une compréhension claire des paramètres principaux et transversaux. Par ailleurs, le tableau 7 fait état des différentes paramétrisations d'une série d'enregistreurs pour aider à la prise de décisions. Ce dernier est tiré de Vigie-Chiro² avec quelques ajouts de notre part.

3.2.3.1. *Zero-crossing / Division de fréquence ou Enregistrement direct / Full spectrum*

La technique du zero-crossing (ZC) repose sur l'enregistrement et le traitement des moments où l'onde acoustique traverse l'axe zéro (c'est-à-dire lorsque le signal passe d'une valeur positive à une valeur négative ou inversement). Au lieu d'enregistrer l'onde entière (full-spectrum), seuls les passages où l'onde traverse l'axe zéro sont gardés. Si cette méthode est moins énergivore (batteries plus longévives) et demande moins d'espace de mémoire (Fraser et al., 2020), le processus de traitement des sons en ZC génère moins de signaux que la technique du full-spectrum (FS), notamment dans le cas de cris de faible amplitude (SNR bas - voir partie « *Seuil de déclenchement (trigger threshold) & Signal-to-Noise Ratio (SNR)* » - p. ex. Adams et al. (2012); Fraser et al. (2020); Smith et al. (2020)). À titre d'exemple, une étude menée en Nouvelle-Zélande en 2020 démontre que sur 10 nuits de prospection, les enregistreurs FS ont enregistré un nombre médian de 20 espèces de chauves-souris contre 3 pour les enregistreurs en ZC. Les enregistreurs ZC ont également détecté des chauves-souris sur un nombre de nuits significativement plus faible que la méthode de FS (à noter que les enregistreurs sont différents et qu'une variabilité peut donc aussi en découler) (Smith et al., 2020). Par ailleurs, la méthode du ZC est plus restrictive : elle ne peut être convertie en FS alors que l'inverse est possible.

Dans le cadre d'études dont l'objectif est un inventaire représentatif et comparable, les appareils enregistrant en Full Spectrum apparaissent comme les plus appropriés.

3.2.3.2. *Déclenchement (Triggering)*

À l'heure actuelle, la plupart des appareils permettent le paramétrage d'un déclenchement de l'enregistrement (trigger). L'application ou non d'un déclenchement a un impact direct sur la batterie et la mémoire de l'appareil. En effet, les enregistrements continus (c'est-à-dire non déclenchés) impliquent que l'appareil enregistre sans s'arrêter, utilisant de la batterie et un espace de stockage considérable. Généralement, lorsque le détecteur le permet, **il est préférable d'activer un déclenchement**, qui, à partir d'un certain seuil d'intensité et dans une certaine gamme de fréquences, lance l'enregistrement.

3.2.3.3. *Fenêtre de déclenchement (Triggering window)*

Une fois déclenché, l'enregistrement se poursuit le temps de la durée de la fenêtre après le dernier signal qui active le déclencheur. Il convient de définir une fenêtre de déclenchement suffisamment longue pour éviter un enregistrement qui se termine après un seul cri d'écholocation. Selon les modèles, l'enregistrement peut également être interrompu lorsqu'il atteint la durée maximale d'enregistrement. Par exemple, si les signaux d'écholocation des chauves-souris se produisent toutes les 0,3 secondes et que la fenêtre de déclenchement est de 0,1 seconde, un nouveau déclenchement se produira à chaque cri d'écholocation (pour autant que l'appareil n'ait pas été réglé pour enregistrer d'office jusqu'à la durée maximale d'enregistrement). Un exemple de fenêtre de déclenchement suffisant est 3 secondes, comme recommandé dans le guide du SM4BAT.

² Comparatif matos acoustique chiros, consulté le 13/03/2025 à l'adresse https://docs.google.com/spreadsheets/d/15u0Og0O3eiuyWn_Fh9HqzUixkD9qdt9yf9_edcgDGLE/edit?gid=0#gid=0

3.2.3.4. *Fréquence minimale et maximale de déclenchement (triggering min and max frequency)*

Il est également possible de régler les fréquences minimale et maximale auxquelles se déclenche l'enregistrement. Ce paramètre dépend des espèces visées ou présentes localement et doit être un compromis qui permette le lancement d'une séquence d'enregistrement lors de chaque passage d'une chauve-souris, mais qui évite une activation abusive des déclenchements au moindre bruit parasite (ce qui demanderait un espace de stockage et une batterie excessive). Une fois un ultrason détecté dans la gamme de fréquences visée (c.-à-d. au-delà de la fréquence minimale et en-deçà de la fréquence maximale), l'enregistrement commence. Il est toutefois bon de noter que l'enregistrement n'est pas cantonné à ces limites minimales et maximales de fréquence, seul le déclenchement l'est. Ainsi, si une chauve-souris active l'enregistrement et qu'un bruit est entendu au même moment en dessous de la fréquence minimale, il sera également enregistré. Les fréquences minimale et maximale sont donc des paramètres différents des filtres passe-haut et passe-bas. En Belgique, des seuils pertinents et cohérents par rapport aux chiroptères présents sont **16 kHz pour la fréquence minimale** (ou 18 kHz pour des environnements bruyants) et **120 kHz pour la fréquence maximale**.

3.2.3.5. *Filtre passe-haut (High-pass filter)*

Comme son nom l'indique, ce paramètre permet de filtrer les sons basses fréquences potentiellement parasites. Le filtre agit plutôt graduellement et non pas comme une coupure nette. Les fréquences en-dessous de la valeur définie du filtre passe-haut sont ainsi progressivement de plus en plus atténuées lorsqu'on s'éloigne (vers le bas) de cette valeur. Ce filtre doit donc être bien ajusté en fonction de la gamme d'émission des espèces locales afin de ne pas supprimer des éventuelles espèces émettant en basse fréquence et du comportement recherché dans les enregistrements (notamment les cris sociaux qui sont en général émis à plus basse fréquence)³. Un bon compromis est la fixation du filtre passe-haut à **16 kHz maximum** en cas d'inventaires se voulant exhaustifs en Belgique. Dans le cadre d'étude comportementale incluant les cris sociaux (plus basse fréquence), il est conseillé de descendre le filtre à 10 kHz tout en sachant qu'il y aura davantage de bruits parasites selon les conditions environnantes. Par ailleurs, certains manuels renseignent la courbe de réponse du filtre passe-haut qu'il convient de consulter si disponible.

3.2.3.6. *Seuil de déclenchement (trigger threshold) & Signal-to-Noise Ratio (SNR)*

L'application d'un déclenchement implique forcément la définition de son seuil. Ce dernier correspond à l'intensité sonore minimale nécessaire (en dB) pour déclencher un enregistrement et est donc directement relié au Signal-to-Noise Ratio (SNR).

Le SNR consiste en une mesure de la qualité d'une séquence qui compare l'amplitude relative des (ultra-)sons d'intérêt par rapport au bruit de fond. Comme relayé dans Fraser et al. (2020), il détermine à quel point la chauve-souris doit être proche du micro pour déclencher un enregistrement et dans quelle mesure des bruits parasites pourraient en déclencher un. Un ratio élevé implique que les cris des chauves-souris sont comparativement beaucoup plus intenses que le bruit de fond et les bruits parasites. À l'inverse, si les contacts ne sont pas très intenses (par exemple parce qu'ils sont émis par des chauves-souris qui sont éloignées ou que le niveau sonore de bruit de fond est important - vent, pluie, trafic, bruit d'eau courante par exemple -), le SNR risque d'être particulièrement faible. Ainsi, un seuil de déclenchement élevé permet d'éviter des bruits parasites mais implique aussi une potentielle perte de détection d'individus qui seraient éloignés de

³ Il est possible d'ajouter un filtre passe-haut à posteriori via le logiciel de visualisation batsound notamment.

l'appareil et dont les ultrasons seraient moins intenses. Ce seuil peut aussi être réglé par rapport au bruit de fond comme sur le SM4BAT (voir notamment Barluet de Beauchesne et al., 2025). Il faut donc trouver un compromis (= un bon SNR) entre la meilleure détection possible des espèces d'intérêt et l'absence d'enregistrement de trop de bruits non désirés, utilisant de l'espace mémoire et de la batterie inutilement. Cela implique de connaître le comportement acoustique des espèces potentiellement présentes localement et le contexte paysager de l'étude afin de capturer leurs émissions sans enregistrer trop de sons parasites. Il est à noter que certains appareils permettent la définition du seuil de déclenchement selon le SNR directement par paliers qualitatif (avec par exemple SNR faible / moyen / élevé). Il faut noter que si cette approche permet de plus facilement comprendre et s'appropriier la notion de déclenchement, elle est aussi moins précise.

3.2.4. Fréquence d'échantillonnage (Sample rate ou Frequency Sampling)

Comme explicité dans Russ (2021), la fréquence d'échantillonnage détermine la résolution avec laquelle l'équipement capte les ultrasons. Elle correspond au nombre de fois par seconde où l'onde sonore est échantillonnée. Une fréquence d'échantillonnage élevée est nécessaire pour obtenir une collecte de points suffisants pour bien représenter l'onde sonore. Une sous-représentation de points de signaux conduit à une erreur d'*aliasing*, c'est-à-dire un repliement du spectre sonore, comme l'illustre la figure 9.

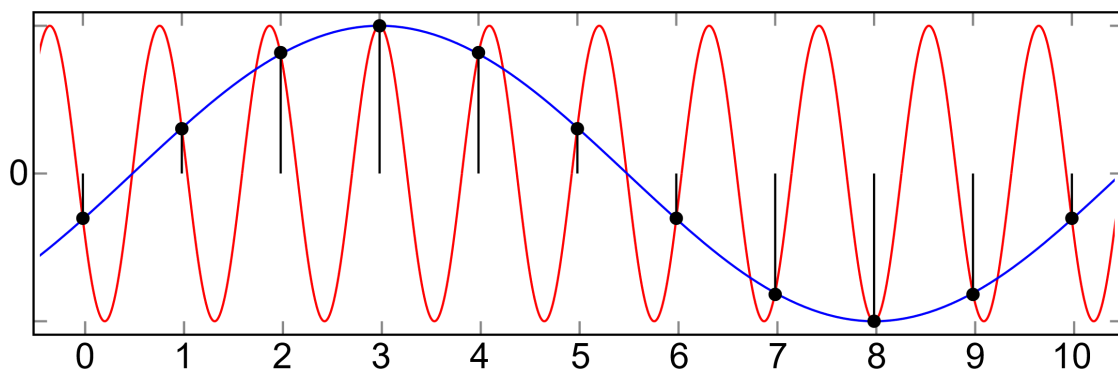


Figure 9 : Crénelage (repliement, aliasing) d'un signal sinusoïdal de fréquence $f=0.9$, confondu avec un signal de fréquence $f=0.1$ lors d'un échantillonnage de période $T=1.0$. Source : https://fr.wikipedia.org/wiki/Repliement_de_spectre

Pour éviter cette erreur et sur base du théorème de Nyquist, il est nécessaire de paramétrer une **fréquence d'échantillonnage au moins deux fois supérieure à la fréquence la plus élevée du signal original que l'on tente d'enregistrer** (Russ, 2021). En parallèle, il faut également considérer qu'une augmentation de la fréquence d'échantillonnage génère une plus grande quantité d'information et donc une plus grande utilisation de la batterie et de l'espace de stockage.

Dans le cas de la Wallonie, les chauves-souris peuvent émettre jusqu'à 170 kHz, impliquant une fréquence d'échantillonnage minimale de 340 kHz. Il est courant que la fréquence d'échantillonnage des détecteurs soit configurée par palier. À titre d'illustration, le SM4BAT, détecteur fréquemment utilisé dans le cadre de recensements, permet de sélectionner une fréquence d'échantillonnage de 192 kHz, 256 kHz, 384 kHz ou 500 kHz. Il est donc conseillé de choisir celui de **384 kHz de fréquence d'échantillonnage**, correspondant au meilleur compromis entre l'enregistrement de l'entièreté du spectre d'émission (avec une résolution correcte jusqu'à des sons de fréquence 192 kHz) et une consommation appropriée de la batterie et du stockage. À défaut, une fréquence d'échantillonnage de 256 kHz permettra une représentation adéquate des signaux jusqu'à 128 kHz, ce qui peut être suffisant pour la

majorité des espèces de notre faune, avec toutefois un petit handicap dans l'identification précise de certaines fréquences initiales élevées chez certains *Myotis*. Ce cas de figure peut par exemple être rencontré dans le cas d'une utilisation en stéréo de certains détecteurs, qui imposent alors une fréquence d'échantillonnage maximale de 256 kHz.

3.2.5. Gain (Channel gain)

Outre le préamplificateur (gain analogique) existant dans certains micros, un gain (en dB) peut être ajouté de manière à augmenter l'amplitude du signal (gain numérique). Des tests doivent être réalisés afin de s'assurer que les signaux souhaités sont enregistrés avec un gain suffisant, sans pour autant provoquer une distorsion par écrêtage (saturation). Une distorsion du son (*overloading*) trop importante peut conduire à des difficultés pour distinguer le début et la fin de chaque signal et pour interpréter auditivement les enregistrements et ainsi compliquer l'identification des espèces. Des facteurs environnementaux, tels que la proximité d'une route, d'une zone d'activité industrielle, d'une rivière, demandent un gain plus ou moins important. L'application et l'intensité d'un gain dépendent donc des conditions environnementales mais également des propriétés internes du détecteur et du micro.

3.2.6. Autres configurations et paramètres

Certains aspects n'ont pas été évoqués ici car ils relèvent plus d'un raisonnement critique que d'un réel domaine d'expertise. Par exemple, le poids et le volume de l'appareil sont autant d'éléments importants à considérer lors de la réflexion sur le protocole.

Selon les modèles, il existe d'autres paramètres uniques pouvant être configurés. Dans la plupart des cas, un guide d'utilisation explicitant chacun d'entre eux existe. De manière générale, nous conseillons vivement de se référer à ces guides lors de l'achat d'un appareil et de sa configuration. En particulier, les modèles récents sont de plus en plus précis dans le nombre de facteurs à paramétrer. Il est donc d'autant plus important d'y prêter attention. À titre d'illustration, le SM Mini Bat2 peut être configuré en enregistrement acoustique dans l'audible (pour l'avifaune, les batraciens, les orthoptères, etc.) de « haute » ou « basse » qualité. Un enregistrement diurne dans l'audible de haute qualité réduira inévitablement la longévité de la batterie et de la mémoire et ainsi la durée totale de prospection (jours et nuits inclus).

Certains appareils peuvent être connectés avec une interface sur IOS ou Android. Le cas échéant, utilisez cette opportunité pour vérifier le bon fonctionnement de votre appareil. Restez toutefois critiques face à certaines informations comme l'indication du niveau de batterie qui n'est pas toujours fiable et est sujet à des changements importants selon les conditions météorologiques (voir notamment tableau 1).

Les informations fournies dans le tableau 7 ci-dessous proviennent en partie du site Vigie-Chiro⁴ et sont présentées à titre indicatif.

⁴https://docs.google.com/spreadsheets/d/15u0Og0O3eiuyWn_Fh9HqzUixkD9qdt9yf9_edcgDGLE/edit?gid=0#gid=0

Modèle	Déclenchement	Étanchéité	Stéréo	poids avec batteries (g)	Fréquence max (kHz)	Jauge de batterie	Type de batterie	Filtre passe-haut mini (kHz)	Commentaires
Anabat Chorus	oui	oui (micro étanche)	non	400	192	fiable	4 piles LR6	1	
Anabat Swift	oui	oui (micro étanche)	non	472	250	fiable	8 piles LR6	10	
Audiomoth	oui	non (boitier étanche vendu par Open Acoustics)	non	107	192	voltage uniquement	3 piles LR6	0	étapes post-traitement de découpage des événements de déclenchements encore lourde sous Windows (plus rapide sous Linux)
Batlogger A	oui	oui (micro étanche)	non	576	156	peu fiable	8 piles LR6	2	
Batlogger A+	oui	oui (micro étanche)	non	695	156	fiable	batterie lithium rechargeable	2	
Batlogger S2	oui	oui	non	138	156	fiable	batterie lithium interne	1	pas de câble pour déporter le microphone (moins discret)
Passive Recorder	oui	oui (micro fragile)	oui si PRS	290	250	fiable	2 accus 18650	0	
Peersonic RPA3	oui (fenêtre de 15 secondes mini)	oui (micro fragile mais changeable pour env. 20 euros)	non	1200	192	voltage uniquement	3 piles LR20	8	copie des fichiers lente (format spécifique)
SM mini	oui	oui (à condition de bien positionner le couvercle !)	non	290	128	?	4 piles LR6	2?	pas de câble pour déporter le microphone (moins discret)
SM mini Bat 2	oui	oui	oui	424 517 (version lon)	250	oui	4 ou 8 piles AA OU entre 1 et 6 batteries rechargeables lithium ion 18650	2 ultrasoniques, 2 acoustiques dans l'audible	
SM2BAT (épuisé)	oui	oui (micro U1 étanche, US fragile)	oui	1500	192	non	4 piles LR20	0 (US) ou 9 (U1)	

Modèle	Déclenchement	Étanchéité	Stéréo	poids avec batteries (g)	Fréquence max (kHz)	Jauge de batterie	Type de batterie	Filtre passe-haut mini (kHz)	Commentaires
SM3BAT (épuisé)	oui	oui (micro U1 étanche)	oui	3200	192	voltage uniquement	4 piles LR20	9	
SM4BAT	oui	oui (micro U1 étanche, U2 plus fragile)	non	1300	192	voltage uniquement	4 piles LR20	2 (U2) ou 9 (U1)	
GSM Batcorder 3	oui	oui (micro sensible aux longs déploiements)	non	755	250	oui (via l'interface RS232)	NiMH 6V / 2.7Ah	1 (+ low-pass filter)	

Tableau 7 : dérivé du site de Vigie-Chiro résumant les paramètres importants de différents appareils

3.3. Format et Post-traitement des données

Le format d'enregistrement des données et leur traitement sont également des facteurs très importants qui peuvent considérablement influencer la collecte des données et/ou les résultats.

3.3.1. Format

3.3.1.1. Horaire & période de déploiement

Pour la plupart des détecteurs, il est possible de régler l'horaire de veille active⁵ (et de « sommeil ») des appareils. Selon les bureaux d'études et les projets, les méthodologies et donc la durée de veille active sont différentes (e.g tranches de 5 min avec des pauses, 8h d'enregistrement en continu, lancement 30 min avant le coucher du soleil, arrêt 30 min après le lever, etc.), conduisant à des difficultés de comparaison entre études. En effet, l'application d'approches différentes pour répondre à des questions similaires de diversité spécifique et d'abondance implique forcément des différences dans les résultats et des confusions possibles quant aux interprétations. Une étude de 2012 met en lumière l'importance de considérer l'entièreté de la nuit, en particulier au printemps et en été, où deux pics d'activité sont observés vers 45 min après le coucher du soleil et 45 min avant le lever du soleil (Skalak et al., 2012). Par ailleurs, certaines espèces de chauves-souris sont connues pour leur comportement crépusculaire, confirmant l'importance d'activer les enregistreurs assez tôt si le suivi de ces espèces est visé (Frafjord, 2021; Skalak et al., 2012). Pour maximiser la collecte de données, nous conseillons donc de programmer la période de veille active du détecteur **à partir de 30 min avant le coucher du soleil jusqu'à 30 min après le lever du soleil**. Avoir une référence standard quant à la durée d'une nuit type permet de comparer les études entre elles, et ce malgré qu'elles concernent des périodes de l'année différentes (impliquant de facto des nuits de durée variable). En effet, bien que les nuits de septembre soient plus longues que les nuits de juin, l'activité totale sur une nuit complète reste assez similaire, à population de chauves-souris égale et indépendamment de leur statut reproductif. En cas de longues nuits, les chauves-souris ne chassent qu'une partie de la nuit, comme explicité par Skalak et al. (2012). Ainsi, en comparant le nombre de contacts par nuit entière, et non par heure, les comparaisons entre périodes différentes deviennent cohérentes, pour autant que la référence de la durée de la nuit soit similaire d'une étude à l'autre (voir par exemple Loeb et al., 2020). La période de prospection reste un facteur à considérer, notamment en regard du cycle de vie de la chauve-souris (Frafjord, 2021; Loeb et al., 2020; Skalak et al., 2012).

De manière générale, il prévaut donc de considérer chaque étude dans son contexte temporel, spatial et météorologique.

3.3.1.2. Durée des contacts

La durée des contacts est un facteur qui influence forcément le nombre de contacts (Skalak et al., 2012). De manière assez évidente, si l'on considère des contacts d'une durée de maximum 10 secondes, le nombre de contacts sera jusqu'à 2 fois moins élevé que pour des contacts d'une durée de maximum 5 secondes. Afin d'homogénéiser les études et permettre une comparaison, nous proposons de s'en tenir à la méthode de Barataud (Barataud, 2020) qui mesure l'activité des chauves-souris comme la somme de **passages de maximum 5 secondes**. Par ailleurs, nous préconisons de procéder au découpage des contacts en tranches de 5 secondes dans la phase de post-traitement c'est-à-dire après l'enregistrement. En effet, il est possible de régler certains détecteurs de telle manière qu'ils enregistrent directement des fenêtres de temps de maximum 5 secondes. Cette méthode est

⁵ La veille active correspond à période où le détecteur est actif, en vigilance, et crée des enregistrements lorsqu'un contact de chauve-souris est rencontré selon les conditions de déclenchement programmé.

problématique car selon la vitesse d'écriture de la carte SD et de la rapidité de déclenchement du détecteur notamment, il peut y avoir des « blancs », périodes de temps plus ou moins longues où le détecteur n'est pas à même d'enregistrer, même si une chauve-souris passe à proximité. Par ailleurs, ces blancs peuvent être de longueur différente selon les appareils et donc conduire à un nombre final maximal de contacts différent sur une nuit entière. Il est conseillé de prévoir des **enregistrements de minimum 60 secondes**, ce qui permet d'éviter des « blancs » trop importants et de lisser les différences entre appareils. L'objectif est d'avoir un bon compromis entre des données lissées et des fichiers pas trop volumineux (réduisant également le risque de perte de données en cas d'arrêt de la machine). Les sons seront ensuite segmentés en contacts de maximum 5 secondes par un logiciel de tri en phase de post-traitement. Il est à noter que ce format (séquences de maximum 5 secondes) maximise également les performances de l'analyse automatique par les classificateurs. Certains auteurs, tels qu'Alexandre Haquart (Haquart, 2013) choisissent au contraire de travailler avec des « minutes positives ». Dans ce cas, l'activité n'est pas comptabilisée sur base la présence d'une espèce par tranches de 5 secondes (contact) mais par tranches de 60 secondes (minute positive). Cette méthode, qui propose une gamme de valeurs plus étroite, aurait notamment pour avantage de mieux permettre une comparaison de résultats issus de détecteurs aux performances très diverses.

3.3.1.3. Classificateur

Selon l'algorithme de machine-learning utilisé (préalablement entraîné par les développeurs), les bases de données sur lesquelles l'entraînement est réalisé (différentes espèces, différents comportements, conditions météorologiques, etc.) et leur provenance géographique, les outils informatiques de traitement et d'identification automatique varient en performance (mesurée par le pourcentage d'identification correcte des espèces) (e.g. Brabant et al., 2018; Lemen et al., 2015; Rydell et al., 2017, 2018). La durée des séquences et leur qualité impactent également ces performances, de manière différente selon l'outil testé. En Europe occidentale, une étude belge met en lumière ces différences. À titre d'exemple, sur base de données dites de haute qualité, le classificateur BatIdent s'est montré globalement être le logiciel le plus performant (77% d'identifications correctes), suivi de Kaleidoscope (71%) puis de SonoChiro (65%) et enfin de BatExplorer (31%) (Brabant et al., 2018). Sachant que ces études se basent sur de données de haute qualité, la validation par un expert dans les cas concrets d'étude de terrain est d'autant plus importante.

Par ailleurs, comme explicité par différentes études (e.a. Brabant et al., 2018); Lemen et al., 2015); Rydell et al., 2017, 2018) la performance des classificateurs varie aussi selon les espèces à identifier. SonoChiro semble par exemple plus efficace pour assigner correctement les contacts de *Eptesicus nilssonii* que Kaleidoscope avec respectivement une performance de 91,5% et 85% (Rydell et al., 2017, 2018). Brabant et al. (2018) obtiennent des résultats du même ordre avec une performance de 93,8% pour SonoChiro et 75% pour Kaleidoscope pour cette même espèce. Cependant, pour *Myotis daubentonii*, Kaleidoscope atteint 88,9% d'identification correcte de performance contre 61,1% selon Brabant et al. (2018) pour SonoChiro. Ces résultats soulignent la variabilité des outils et une nouvelle fois l'importance d'une validation approfondie par un opérateur expérimenté.

De plus, il est courant que les classificateurs associent un degré de certitude à leur identification automatique. Ce degré de certitude est calculé de manière différente d'un outil est l'autre et n'est donc pas comparable. Il peut être tentant de ne pas vérifier les identifications pour lesquelles ce degré est élevé, en particulier lors de l'évaluation de l'activité des chauves-souris (pour laquelle une seule partie des contacts est vérifiée). Cependant, il est possible que les classificateurs automatiques commettent des erreurs systématiques d'identification, ce qui génère un biais. Par exemple, le fait qu'un animal (notamment les micro-mammifères) crie à proximité du détecteur peut conduire à l'assignation de ce bruit à une espèce de chauve-souris quasi automatiquement. Il est donc conseillé de réaliser des courbes de régressions logistiques pour déterminer la valeur pivot

du degré de certitude à partir duquel on peut faire confiance au classificateur. Pour cela, les identifications proposées par le classificateur sont comparées à la validation réalisée par un observateur expérimentée (pour chaque contact, l'identification est évaluée comme correcte (1) ou incorrecte (0)), puis une régression logistique sur base des degrés de certitude est appliquée et leur performance est vérifiée via la méthode ROC & AUC explicitées à la figure 10. Cette méthode peut être appliquée par groupe ou par espèce s'il y a suffisamment de données. Elle permet de prendre en considération les spécificités de la performance du logiciel de pré-tri pour chaque groupe ou espèce et de mettre en lumière le taux d'erreur des identifications automatiques. À titre d'illustration, une étude menée en 2024 témoigne de la mauvaise fiabilité de Kaleidoscope en ce qui concerne les murins, avec très paradoxalement une performance de plus en plus réduite à mesure que le degré de certitude augmente (De Neyer et al., 2024).

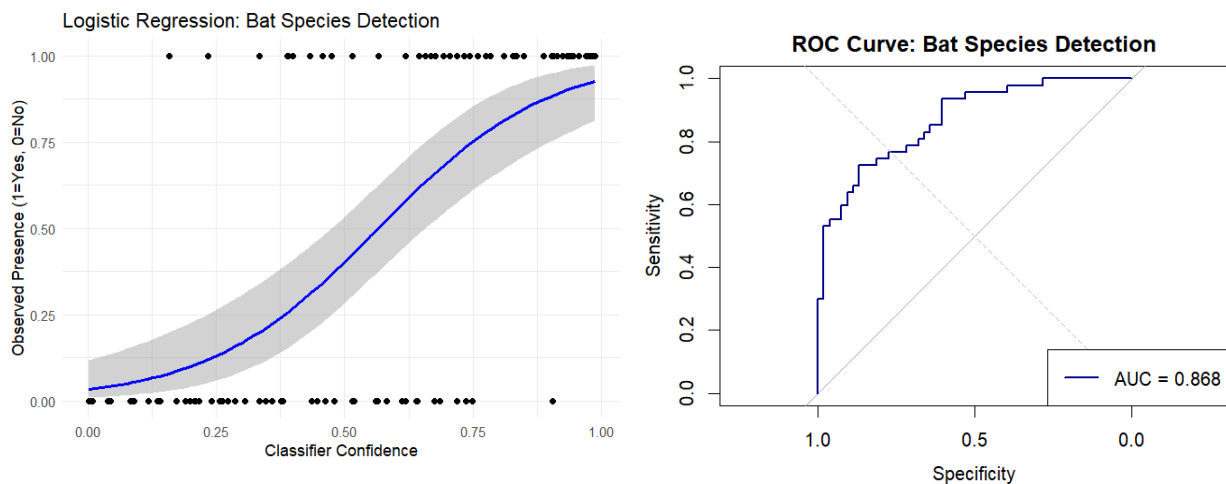


Figure 10 : **A.** Simulation d'une régression logistique réalisée sur R pour une espèce quelconque de chauve-souris (jeu de données fictif). **B.** ROC (Receiver Operating Characteristic) Taux de vrais positifs (sensibilité) en fonction du taux de faux positifs et la valeur AUC (Area Under the Curve) qui évalue la performance globale du modèle (1 = parfait, 0 = aléatoire)

Outre l'identification automatique, le validateur peut préférer un outil de pré-tri plutôt qu'un autre sur base de la qualité de l'affichage, de la facilité de lecture, des informations fournies, des paramétrisations possibles, du prix etc.

Nous n'avons pas trouvé dans la littérature consultée d'information quant à l'impact du choix du classificateur et de la manière de l'utiliser sur la construction ou l'utilisation d'un référentiel d'activité. Il est certain que ces choix ont potentiellement une influence sur le nombre de contacts finalement considérés dans la construction ou dans l'utilisation d'un référentiel, mais l'ampleur que pourrait avoir ce biais ne semble pas avoir été étudiée jusqu'à présent.

Dans tous les cas, il apparaît primordial d'**expliquer dans les rapports la méthodologie suivie**, le logiciel utilisé, le degré de certitude considéré le cas échéant, le mode de sensibilité, et tout autre paramètre utilisé lors de l'identification automatique.

3.3.1.4. *Biais liés à la validation*

Avant la validation des identifications automatiques proposées par le classificateur, il peut être utile de s'accorder sur le protocole et le contrôle de la qualité à mettre en place afin d'éviter des biais, comme rappelé par Fritsch & Bruckner (2014). Il est utile de se concerter notamment sur des ateliers préparatoires conjoints pour convenir de protocoles/procédures standard/outils ; l'identification a priori des sources potentielles d'erreur ; la préparation de guides d'identification et d'exemples ; des procédures pour traiter les espèces difficiles ou les

identifications ambiguës ; des réunions régulières pour discuter, par exemple, de ces dernières ; une documentation cohérente sur les critères de décision ; et une relecture par les pairs des identifications incertaines (Fritsch & Bruckner, 2014).

L'identification finale des espèces doit toujours passer entre les mains d'un **validateur expérimenté**. Selon l'expérience et les connaissances dudit validateur, un contact peut être identifié différemment. À titre d'exemple, une expérience menée sur des validateurs bénévoles de différents niveaux met en lumière qu'un validateur avec peu d'expérience (1 an ou moins) (Fritsch & Bruckner, 2014; Jennings et al., 2008) ou un niveau intermédiaire d'expérience (entre 2 et 18 ans) (Fritsch & Bruckner, 2014) a tendance à rajouter des espèces parfois rares et pour lesquelles seuls quelques signaux avaient été identifiés par le logiciel. Il convient donc de faire valider les identifications réalisées par d'autres validateurs expérimentés. À ce jour, il n'existe aucun comité de validation officiel pour les chauves-souris (ça pourrait être mis en place à l'échelle régionale ou fédérale). Dans ce cas, un partage de la séquence avec un autre expert en acoustique, idéalement issu d'une autre structure, en Belgique ou à l'étranger, pourrait permettre de confirmer l'identification. Ce "**cross-check**" permet d'accroître les certitudes quant à la fiabilité de l'identification d'une espèce et réduit ainsi les erreurs dans les résultats. Cette approche est en particulier pertinente lors de l'identification d'espèces rares ou improbables selon des critères géographiques ou phénologiques.

De la même manière, l'effort d'investigation dans l'identification impacte forcément la certitude d'identification. Il est donc important de consacrer un temps suffisant à la validation avant une identification hâtive, en particulier pour les espèces rares. Il n'est pas possible d'établir un temps minimal ou moyen de recherche d'identification tant les contacts peuvent varier sur différents points notamment leur qualité, leur contenu (nombre de cris, espèces à identifier), etc. Cependant, il est nécessaire et de pratique courante sur des gros jeux de données de vérifier (selon les cas) entre (1) – 3 et 5 – (10) % des séquences (variable selon la proportion de chaque groupe taxonomique (et/ou la recherche d'espèces spécifiques) et la quantité de données). Si ces séquences sont bien choisies (avec une sélection hiérarchisée entre les espèces et les degrés de certitude notamment), on peut avoir une bonne confiance dans les résultats finaux. Il apparaît donc également important de considérer les pratiques de validation lors de la comparaison de résultats entre études.

Dans le doute, la prudence est de mise et les contacts dont une identification précise est compliquée doivent être assignés à un groupe. Il est possible de grouper les espèces sur base de différents critères comme l'écologie acoustique (avec les *short-range echolocators*, *mid-range echolocators*, *long-range echolocators*), les groupes phylogénétiques (e.a. des genres, des familles), les habitats utilisés (guildes), etc. Ci-dessous, nous proposons un exemple de taxons intéressants à utiliser (avec certains groupes supra-spécifiques et d'autres multi-spécifiques) :

- Les **Pipistrelles** (groupement des *Pipistrellus* sp.) : pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*), pipistrelle de Kuhl⁶ (*Pipistrellus kuhlii*), pipistrelle pygmée (*Pipistrellus pygmaeus*)
- Le groupe des **Sérotines-Noctules** comprennent les espèces émettant des signaux en basse fréquence parfois difficiles à distinguer : noctule commune (*Nyctalus noctula*), noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*), sérotine commune (*Eptesicus serotinus*), vespertilion bicolor (*Vespertilio murinus*), sérotine de Nilsson (*Eptesicus nilssonii*) et grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*)

⁶ Nous en profitons pour signaler la bonne prise en considération de l'occurrence géographique des espèces, notamment dans le cas de la pipistrelle de Kuhl et la pipistrelle de Nathusius qui peuvent être confondues mais dont la répartition est potentiellement différente.

- Les **Murins** (groupement des *Myotis* sp.) : murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*), grand murin (*Myotis myotis*), murin à moustaches (*Myotis mystacinus*), murin de Brandt (*Myotis brandtii*), murin de Bechstein (*Myotis bechsteinii*), murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*), murin de Natterer (*Myotis nattereri*), murin des marais (*Myotis dasycneme*) et murin d'Alcathoe (*Myotis alcathoe*).
- Les **Oreillards** (groupement des *Plecotus* sp.) : oreillard roux (*Plecotus auritus*), oreillard gris (*Plecotus austriacus*)
- Dans le cas des **Rhinolophes** (groupement des *Rhinolophus* sp.) et des **Barbastelles**, les espèces présentes en Wallonie peuvent quasi toujours être identifiées à l'espèce avec certitude : petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*), grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*), barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*).

3.4. Résumé des recommandations

Comme explicité tout au long du rapport, il n'existe pas d'appareils « one size fits all » (Fraser et al., 2020). Selon les objectifs et le contexte de l'étude, certains appareils seront préférables à d'autres. Il convient donc de se poser les bonnes questions :

- Quelles sont les recommandations légales (en matière d'appareil, de paramètres ou de protocole, notamment la temporalité) qui sont imposées par les autorités dans le cadre de l'étude que je dois mener ?
- Quelles sont les espèces recherchées ? Est-ce que je recherche des espèces sur une localisation très précise ou est-ce un recensement se voulant représentatif ?
- Dans quel milieu/contexte mon étude se situe-t-elle ? Quels sont les conditions météorologiques de la période de déploiement ?
- Quel format est prévu pour mes séquences (5 sec/1sec/...) ? Combien de temps vais-je déployer mes appareils ?
- Et par extension : Comment vais-je procéder au traitement et à la validation de mes données ? Qui assurera cette validation ?

Dans tous les cas, il est recommandé de noter scrupuleusement les méthodes, le matériel utilisé, les paramètres et configurations suivis. L'ajout de photos du déploiement est également souhaité. Ces informations devraient être consignées clairement dans le rapport de l'étude.

Si une nouvelle étude a pour objectif de comparer ses résultats avec des études précédentes, il peut valoir la peine de refaire tourner les enregistrements dans un classificateur récent pour que les résultats soient relativement comparables (en prenant toujours en compte le matériel utilisé).

Nous présentons nos recommandations résumées dans l'encadré ci-dessous. Il est primordial de considérer ces recommandations dans le contexte d'inventaire se voulant exhaustifs (type EIE).

Au vu des différences considérables qu'apportent les différentes configurations et paramétrages dans la collecte des données, il est primordial, pour toute étude, de prendre note des informations relatives aux appareils et paramètres utilisés, à la méthodologie de suivi (déploiement, durée, etc.) et au post-traitement (validateur, classificateur utilisé, nombre de contacts validés, etc.) pour permettre à chacun de comprendre le cadre dans lequel s'inscrivent les résultats. Dans la mesure du possible, nous suggérons aux bureaux d'études et organismes de renseigner ces informations dans le rapport d'étude ou dans un document annexe.

Nous rappelons l'existence d'un guide de recommandations quant aux pratiques de gestion de l'enregistrement et des données acoustiques pour les professionnels⁷.

Enfin, nous rappelons l'importance de consulter les manuels d'utilisation des appareils avant l'achat et certainement avant le déploiement de ces derniers. Des informations précieuses s'y trouvent et peuvent éviter des embarras sur le terrain au moment du déploiement ou de l'analyse des données.

Conseils récapitulatifs :

CONFIGURATION

- Piles/batteries/Cartes SD conseillées par le manuel de l'enregistreur et provenant d'un fournisseur de matériel électronique réputé. Vérification systématique de leur fonctionnement. Prévoir du matériel de rechange sur le terrain.
- Contexte paysager à considérer lors du positionnement des enregistreurs, de préférence à minimum 1m du sol et avec le micro orienté vers les espaces plus dégagés en milieu (semi-)fermé.
- Avoir en tête les potentielles pertes d'informations liées à la protection du matériel.

PARAMÉTRAGE

- Utilisation d'un appareil en full-spectrum
- Paramétrage en déclenchement (triggered)
- Seuil de déclenchement (SNR) à adapter selon l'appareil et l'environnement
- Fréquence d'échantillonnage de minimum 340 kHz (palier 384 kHz)
- Fréquence minimale de déclenchement de 16 (18) kHz et maximale de déclenchement de 120 kHz
- Filtre passe-haut à 16 kHz (ou 10 kHz pour étude comportementale)
- Fenêtre de déclenchement adaptée au matériel et aux espèces locales
- Gain à adapter selon les conditions environnementales (dépendant de chaque détecteur)

FORMAT ET POST TRAITEMENT

- Découpage en contacts de 5 secs pour des enregistrements d'une durée totale de 60 secs minimum
- Veille active depuis 30 min avant le coucher du soleil jusqu'à 30 min après le lever du soleil
- Prise en compte de la période de déploiement lors de comparaison avec d'autres études et comparaison sur base de nuits entières

⁷<https://www.ecofirst.eu/fr/nos-publications/fr-recommandations-generales-en-matiere-de-gestion-des-donnees-acoustique-pour-les-professionnels>

- Précaution lors de l'usage d'un classificateur (identification des biais), réalisation de régressions logistiques pour limiter les mauvaises interprétations et consigner les informations/paramètres
- Validation par des personnes expérimentées, effort de validation suffisant ((1)-3-5-(10)% des séquences), réaliser de cross-check
- En cas d'incertitude, groupement des séquences selon des groupes d'espèces



Partie 4 : Méthodologie

4. Méthodologie

4.1. Rassemblement des jeux de données

Nous avons pu récupérer une base de données acoustiques très fournie de la part du SPW (base de données SPW-DEMNA-Natagora). Les fichiers transmis consistent en des fichiers d'output de SonoChiro, qui proviennent de projets divers et variés tels que des projets LIFE, des compilations de recensements réalisés par le DNF, des monitorings spontanés, etc. Une partie provient également de recensements en sites souterrains et/ou à l'intérieur de bâtiments de ferme. Ces sites présentent des particularités d'habitat qui ne sont pas représentatives de conditions d'installation classiques pour des EIE. Ces données (41 fichiers en tout) ont donc été retirées de la base de données utilisée pour la constitution du référentiel. Par ailleurs, les fichiers SonoChiro de bureaux d'étude ont été ajoutés, permettant la compilation de 77 fichiers.

Au total, la base de données brute compte ~6.8 millions de données. Chaque ligne de notre base de données correspond à un enregistrement de 5 secondes. La structure minimale commune pour chaque enregistrement est décrite ci-dessous (en grisé les facteurs utilisés dans notre traitement). Les descriptions proviennent (en partie) du manuel d'utilisation de SonoChiro.

Information générale

	Description
Validation	Personne chargée de la validation du son. En moyenne seulement 1% des lignes ont été validées et contiennent de ce fait un nom de validateur.
Opérateur	Personne chargée de la mise en place du dispositif et de la récolte de données.
Date, heure	Information sur la date et l'heure d'enregistrement. Le format peut être différent d'un fichier à l'autre.
Machine	Identifiant de la machine. Parfois cet identifiant informe directement du modèle mais pas toujours.
Site, X, Y	Informations relatives à la localisation de la machine. Parfois le champ "Site" peut englober plusieurs déploiements à différents X, Y d'où l'importance de cette information.

Identification

	Description
Id	Identification provisoire de l'espèce ou du groupe acoustique de SonoChiro. Souvent c'est dans cette colonne que le validateur inscrit son verdict.
Contact	Information quant au niveau de contact de l'espèce dans la séquence audio. Autrement dit, donne un indice (principal, secondaire, tertiaire) selon que l'espèce entendue est en arrière-plan d'une autre ou est la plus représentée sur la séquence.
Groupe	Groupe acoustique d'espèces identifié par SonoChiro.
IGp	Indice de confiance de SonoChiro associé à l'identification automatique du groupe. Varie de 0 (peu de confiance) à 10 (forte confiance).
Espèce	Espèce identifiée par SonoChiro.
ISp	Indice de confiance de SonoChiro associé à l'identification automatique de l'espèce. Varie de 0 (peu de confiance) à 10 (forte confiance).

Description technique

	Description
NbCris	Nombre de cris sur lesquels l'identification s'est basée.
Fdom	Médiane des fréquences dominantes des cris.
IntMed	Intervalle médian de temps entre les cris (caractérisation du rythme).
Iqual	Indice de la qualité de la séquence. Varie de 0 (séquence médiocre) à 10 (très belle séquence).
Ics	Indice de confiance mettant en évidence la présence de cris sociaux. Varie de 0 (aucun cri social détecté) à 10 (certitude de présence de cris sociaux).
Ibuz	Indice de confiance mettant en évidence la présence de buzz de capture. Varie de 0 (aucun buzz détecté) à 10 (certitude de présence de buzz de capture).
Fmin	Médiane des fréquences minimum des cris.

4.2. Nettoyage des données

Dans certains fichiers, une partie des renseignements décrits précédemment sont manquants. Cela n'est pas toujours délétère dans le cas de la création d'un référentiel. Dans notre processus, une donnée est conservée pour autant qu'elle ait au minimum les informations générales et les informations d'identification (sauf en ce qui concerne la variable

“contact”; voire cases grisées dans les tableaux précédents). Les informations générales comprennent les données essentielles de localisation, date et heure nous permettant de retracer le contexte de l’acquisition de la donnée. Elles permettent non seulement de relier une séquence à un lieu et à un moment précis, mais également de reconstituer un ensemble de variables environnementales indirectes, telles que la durée de la nuit, la période du cycle biologique des chauves-souris ou encore le type de paysage environnant. Les informations d’identification sont essentielles pour des raisons évidentes : d’une part, cela nous permet de tracer les régressions logistiques sur base des estimations et des indices de confiance proposés par SonoChiro (voir 4.3.1. *Filtration selon l’indice ISp - Méthode de régression logistique*) et d’autre part, cela est nécessaire pour la bonne attribution de la séquence de l’espèce dans le bon référentiel de ladite espèce.

Par ailleurs, la compilation de fichiers de provenances très diverses (sources multiples, projets variés) implique forcément de prendre en compte la très forte hétérogénéité dans les données reçues. Cette hétérogénéité prend différentes formes :

- Emploi de langues différentes dans le logiciel SonoChiro, impliquant des noms de colonnes différents
- Colonne générée manuellement (par exemple “Commentaires”) avec des noms différents
- Géoréférencement variable entre les fichiers (Lambert 72, WGS, etc.)
- Géoréférencement parfois consignés dans d’autres colonnes (commentaire)
- Doublons entre fichiers sources et fichiers de compilations
- Format différents dans les dates, heures
- Noms d’espèces mal orthographiés
- Présence de lignes vides.

Le nettoyage et l’homogénéisation de ces données a conduit à une base de données de ~5.3 millions de lignes.

4.3. Filtration et catégorisation

4.3.1. Filtration selon l’indice ISp - Méthode de régression logistique

Les méthodes de validation manuelle sont variables selon les projets et les objectifs poursuivis lors de la récolte des enregistrements. Dans le cadre de certains projets d’étude, l’analyse acoustique des chauves-souris vise avant tout à déterminer si une espèce est présente ou non sur un site, et non à mesurer précisément son niveau d’activité. En pratique, dans ce cas, les chiroptérologues valident donc manuellement un nombre limité de séquences de 5 secondes par espèce, parmi celles identifiées automatiquement par les logiciels d’analyse acoustique. Cette approche est adaptée pour confirmer des présences, mais elle pose un problème dans le cadre de la construction d’un référentiel d’activité. En effet, sur l’ensemble de la base de données utilisée dans ce projet, seules environ 40 000 séquences ont été validées manuellement, soit approximativement 1 % des enregistrements. Se limiter à ces seules séquences conduirait à une base de données trop réduite pour construire des référentiels robustes, en particulier lorsque ceux-ci doivent être déclinés par espèce, type d’habitat et période saisonnière.

Afin de renforcer la base de données du référentiel, nous avons évalué la pertinence d’exploiter une partie des données issues de l’identification automatique du logiciel, tout en s’assurant que leur niveau de fiabilité est suffisant. Pour ce faire, nous avons déterminé à partir de quel indice de confiance (ISp) fourni par le logiciel SonoChiro une identification peut être considérée comme suffisamment fiable pour être comptabilisée dans le niveau d’activité qui conduit au référentiel. Autrement dit, à partir de quel seuil d’ISp peut-on conserver les

séquences comme appartenant à ladite espèce. Cette méthodologie décrite ci-dessous nous a permis de conserver près de 3.8 millions de données sur un total de 5.3 millions de données.

Pour chaque espèce, les séquences validées manuellement ont été utilisées comme référence :

- une séquence validée par un observateur et où l'espèce annoncée par SonoChiro a été confirmée correspond à une présence réelle de l'espèce ;
- une séquence validée par un observateur et où l'espèce annoncée par SonoChiro a été infirmée correspond à une absence réelle de l'espèce.

Cette approche repose sur l'hypothèse que les identifications automatiques initiales et les identifications après validation par un chiroptérologue peuvent être distinguées, ce qui n'est pas systématiquement le cas dans l'ensemble des fichiers. En conséquence, une faible proportion des données n'a pas pu être utilisée pour la détermination des seuils d'indice ISp. Ces données ont néanmoins été réintégrées ultérieurement dans la base de données finale et filtrées conformément aux seuils définis afin de pouvoir les exploiter dans le référentiel.

Les séquences validées (confirmées ou infirmées) sont ensuite comparées aux indices de confiance ISp attribués automatiquement par SonoChiro, qui varient de 0 (confiance très faible) à 10 (confiance très élevée). Il est donc supposé qu'un indice de confiance plus élevé conduit à davantage de présences avérées ("vrais positifs") et à un taux d'absence ("faux positifs") plus faible.

Afin de vérifier cette hypothèse, une régression logistique (RL) est dressée pour chaque espèce confrontant les données confirmées (présence) avec les données infirmées (absence) selon les indices ISp. Cette modélisation permet d'estimer, pour chaque valeur de l'ISp, la probabilité que l'identification automatique du logiciel corresponde à une présence réelle de l'espèce annoncée. La courbe obtenue décrit ainsi la relation entre l'ISp et la fiabilité effective des identifications de SonoChiro.

La formule du modèle pour les régressions logistiques des espèces correspond à :

$$\log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 \times ISp$$

Sur conseil du MNHN de Paris, un facteur de pondération ("poids") est également ajouté dans la modélisation. Ce facteur est calculé pour chaque site et chaque ISp comme le ratio du nombre de séquences validées de l'espèce sur le nombre total de séquences validées pour le groupe acoustique. Ajouté à la modélisation, il permet de peser la contribution de chaque site à la modélisation. Les poids n'affectent pas la forme du modèle (relation entre les variables), mais interviennent uniquement dans l'estimation des coefficients. Mathématiquement, ils interviennent dans la fonction de vraisemblance utilisée pour estimer les paramètres, en pondérant la contribution de chaque observation.

Ainsi, un site avec plus de contacts d'une espèce par rapport au groupe acoustique contribuera davantage à la détermination de la probabilité de présence pour chaque ISp pour ladite espèce. Autrement dit, une identification donnée est considérée comme plus crédible lorsqu'elle s'inscrit dans un site où l'espèce est fréquemment détectée au sein de son groupe acoustique, même si certaines séquences individuelles présentent un indice de confiance plus faible.

Par exemple, considérons deux sites A et B. Sur le site A, on contacte beaucoup de Noctules de Leisler, soit 50 contacts sur 100 pour l'ensemble du groupe "Sérotule". Le poids pour ce site est de 0.5 dans la définition de la probabilité de présence du modèle global de l'espèce. Le site B ne compte que 10 contacts de Noctule de Leisler sur 200 du groupe "Sérotule". Son poids est de 0.05. Supposons maintenant qu'une séquence avec un ISp = 3 soit détectée sur chacun des deux sites et validée manuellement comme présence avérée (identification correcte). Bien que l'indice de confiance soit identique et relativement faible dans les deux cas, l'observation du site A aura un poids 10 fois plus élevé dans la modélisation que celle du site B. Cela signifie que le modèle apprendra que, même pour des valeurs faibles d'ISp, une identification peut être fiable si elle provient d'un site où l'espèce est fréquemment détectée.

La qualité de la relation entre l'indice ISp et la présence réelle de l'espèce annoncée par SonoChiro est évaluée à l'aide d'une analyse ROC-AUC, couramment utilisée pour mesurer les performances des modèles de classification binaire. La courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) représente la capacité du modèle à distinguer les présences des absences pour l'ensemble des seuils possibles, en mettant en relation le taux de "vrais positifs" et le taux de "faux positifs". L'AUC (Area Under the Curve - aire sous la courbe) fournit une mesure synthétique de cette performance et correspond à la probabilité que le modèle attribue un score plus élevé à une séquence issue d'une présence confirmée qu'à une séquence issue d'une absence confirmée.

À titre d'illustration la régression logistique du grand murin et la courbe ROC sont présentées dans la figure 11, l'ensemble des régressions pour toutes les espèces sont disponibles à l'annexe 1 et les courbes ROC à l'annexe 2.

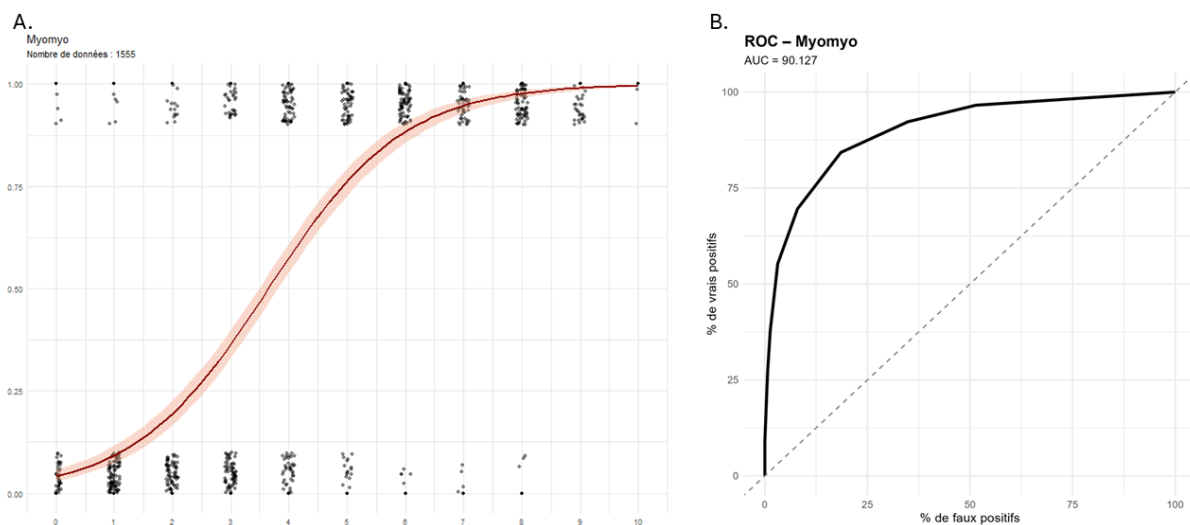


Figure 11 : **A.** Relation entre l'indice de confiance ISp (axe horizontal) et la probabilité de présence confirmée pour le grand murin (axe vertical, de 0 - absence à 1 - présence). Les points représentent les séquences validées, la courbe rouge correspond à la probabilité modélisée par régression logistique et la zone ombrée en orange à l'intervalle de confiance. **B.** Courbe ROC évaluant la capacité de discrimination de SonoChiro pour le grand murin. La courbe noire représente la relation entre le taux de "vrais positifs" et le taux de "faux positifs" pour l'ensemble des seuils possibles, la diagonale grisée correspondant à une classification aléatoire. L'aire sous la courbe (AUC = 90,13 %) traduit une bonne capacité d'identification du logiciel pour cette espèce à mesure que l'ISp augmente.

Une fois la relation entre l'indice de confiance ISp et la fiabilité des identifications automatiques établie, se pose la question du seuil d'ISp à partir duquel les séquences sont considérées comme correctement identifiées et peuvent être intégrées dans la base de données du référentiel. Ce choix est déterminant, car il influence directement à la fois le

volume de données conservées (donc le nombre d'enregistrements et par conséquent l'activité de cette espèce au cours de la nuit) et le niveau de fiabilité des identifications retenues. En pratique, il s'agit de trouver un équilibre entre ces deux dimensions. Un seuil ISp faible permet de conserver un nombre important d'enregistrements pour chaque espèce, mais augmente le risque d'inclure des erreurs d'identification issues de la classification automatique. À l'inverse, un seuil très élevé garantit des identifications particulièrement robustes, mais peut conduire à un nombre de données insuffisant pour assurer la construction d'un référentiel représentatif en termes d'activité et de nombre de nuits. En effet, la déletion d'un nombre important de données peut conduire à des nuits avec très peu de séquences (et donc une activité jugée faible) ou à des délétions de nuits entières, ce qui réduit la fiabilité du référentiel. L'objectif est donc bien de trouver un équilibre entre ce qui est gardé à tort (faux positifs) et ce qui n'est malheureusement pas conservé et aurait dû l'être (vrais positifs).

Dans ce contexte, nous avons retenu une approche reposant sur l'examen conjoint de plusieurs indicateurs complémentaires pour chaque seuil possible. Parmi ceux-ci, deux indicateurs jouent un rôle central, car ils traduisent directement ce compromis :

- **Le TPR cumulé (True Positive Rate)**, également appelé indice de précision, correspond à la proportion d'identifications confirmées comme étant des présences réelles parmi l'ensemble des identifications d'une espèce donnée dont l'indice ISp est supérieur ou égal au seuil considéré. Il fournit une mesure empirique de la fiabilité des identifications automatiques au-dessus de ce seuil. Calculé sur l'ensemble des valeurs supérieures ou égales au seuil, il représente une moyenne cumulée et constitue un des indicateurs principaux utilisés pour définir un seuil opérationnel. Le cas échéant, pour chaque espèce le premier indice ISp ayant comme valeur de **TPR $\geq 0,85$** est sélectionné comme seuil. Le seuil est calculé indépendamment pour chaque espèce et les données (contacts) de cette espèce sont filtrées selon ce seuil.
- **Le pourcentage de données conservées** indique la part du jeu de données total qui est maintenue lorsque seuls les contacts de cette espèce dont l'ISp est supérieur ou égal au seuil sont retenus. Plus le seuil est élevé, plus les données conservées sont fiables et certaines, mais moins leur nombre est important.

D'autres informations sont également regardées en second temps, afin d'affiner l'interprétation :

- **La probabilité modélisée**, estimée à l'aide d'une régression logistique pondérée, correspond à la probabilité théorique qu'une identification automatique soit validée comme une présence pour chaque valeur de l'ISp. Cette estimation est lissée et continue, tient compte des poids liés à la proportion de séquences par site et n'est pas affectée par les fluctuations ponctuelles dues à de faibles effectifs. Elle fournit une estimation locale, propre à chaque niveau d'ISp, de la fiabilité des identifications.
- **Le TFP cumulé (Taux de Faux Positif; False Positive Rate)** représente la proportion d'identifications correspondant à des absences parmi l'ensemble des identifications dont l'indice ISp est supérieur ou égal au seuil considéré. Il est l'exact inverse du TPR cumulé : pour un seuil donné, la somme du TPR cumulé et du TFP cumulé est égale à 1. Cet indicateur permet d'apprécier la quantité d'identifications erronées conservées, ce qui est inévitable lors de filtration à grande échelle.
- **L'aire sous la courbe ROC (AUC)** fournit une mesure synthétique de la performance du modèle RL et correspond à la probabilité que le modèle attribue un score plus élevé à une séquence issue d'une présence confirmée qu'à une séquence issue d'une absence confirmée. Il permet donc d'affirmer la fiabilité des probabilités modélisées prédites. Dans le cas de la sélection des espèces, les AUC sont toujours supérieurs à 75%, ce qui est relativement correct pour des données acoustiques (voir tableau 7).

À titre illustratif, quatre de ces indicateurs sont présentés conjointement pour le grand murin dans la figure ci-dessous. Notez l'augmentation progressive du TPR cumulé et à l'inverse la diminution du TFP cumulé et de la quantité de données. La probabilité de présence confirmée augmente aussi globalement à mesure que l'indice ISp augmente. Les graphiques des autres espèces (et groupes) se trouvent à l'annexe 3.

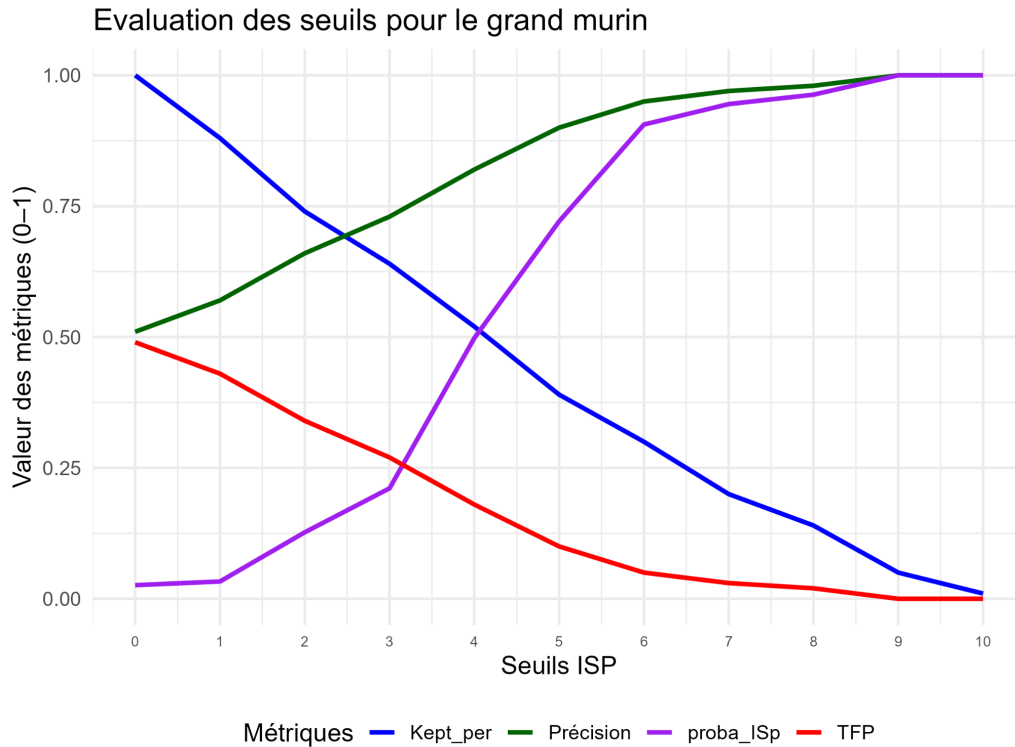


Figure 12 : Évaluation des seuils d'indice ISp pour le grand murin. Évolution conjointe de plusieurs indicateurs en fonction du seuil ISp : pourcentage de données conservées (bleu), précision / TPR cumulé (vert), probabilité modélisée issue de la régression logistique (violet) et taux de faux positifs cumulés (rouge).

En conclusion, le tableau 8 résume la sélection qui a été faite suite à l'évaluation de ces différents indices. Ainsi sur les 24 espèces recensées en Belgique, nous pouvons ajouter aux données validées les données filtrées par la RL pour 13 d'entre elles. Les autres espèces présentent (i) soit trop peu de présences confirmées (Grande noctule, le vespertilion bicolore), (ii) soit un indice TPR trop faible ($\leq 0,85$: la Barbastelle d'Europe, le Murin d'Alcathoé, le Murin de Brandt, le Murin à oreilles échancrées, le Murin à moustaches, la Noctule commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle pygmée, le Petit rhinolophe). Pour ces espèces, seules les validations confirmées sont utilisées pour construire le référentiel.

Espèce	AUC - ROC	Seuil à partir duquel les données sont conservées	TPR	Proportion conservée sur les données validées
<i>Barbar</i>	88,32	NA	NA	NA
<i>Epster</i>	79,58	4	0,87	0,34
<i>Eptnil</i>	69,80	NA	NA	NA
<i>Myoalc</i>	78,21	NA	NA	NA
<i>Myobec</i>	76,35	8	0,93	0,01
<i>Myobra</i>	42,62	NA	NA	NA
<i>Myodas</i>	85,11	10	0,9	0,01
<i>Myodau</i>	68,23	5	1	0
<i>Myoema</i>	69,36	NA	NA	NA
<i>Myomyo</i>	90,13	5	0,9	0,39
<i>Myomys</i>	64,33	NA	NA	NA
<i>Myonat</i>	86,32	4	0,86	0,62
<i>Nyclas</i>	99,41	NA	NA	NA
<i>Nyclei</i>	76,56	5	0,86	0,28
<i>Nycnoc</i>	84,29	10	0,85	0,05
<i>Pipkuh</i>	61,93	NA	NA	NA
<i>Pipnat</i>	82,12	5	0,87	0,64
<i>Pippit</i>	82,58	0	0,89	1
<i>Pippyg</i>	72,87	NA	NA	NA
<i>Pleaur</i>	85,21	5	0,86	0,42
<i>Pleaus</i>	88,10	8	0,94	0,1
<i>Rhifer</i>	80,39	6	0,86	0,56
<i>Rhipip</i>	72,32	NA	NA	NA
<i>Vesmur</i>	80,62	NA	NA	NA

Tableau 8 : Récapitulatif des données d'AUC, TPR et de la proportion gardée des données selon l'ISp conservé le cas échéant pour les espèces.

La méthodologie des RL s'avère pertinente pour autant qu'il y ait suffisamment de données validées durant différentes nuits et différents sites. Comme explicité, une série d'espèces n'atteint jamais le niveau satisfaisant de validation confirmée pour assurer une probabilité de présence et un TPR élevés. Suite à ce constat, nous avons décidé de réaliser un référentiel par groupe d'espèces acoustiquement proches. Les groupes sont les suivants :

- a. Les Pipistrelles (groupement des *Pipistrellus* sp.) : pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*), pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*), pipistrelle pygmée (*Pipistrellus pygmaeus*)
- b. Le groupe des Sérotines-Noctules comprenant les espèces émettant des signaux en basse fréquence parfois difficiles à distinguer : noctule commune (*Nyctalus noctula*), noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*), sérotine commune (*Eptesicus serotinus*), vespertilion bicolore (*Vespertilio murinus*), sérotine de Nilsson (*Eptesicus nilssonii*) et grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*)
- c. Les Murins (groupement des *Myotis* sp.) : murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*), grand murin (*Myotis myotis*), murin à moustaches (*Myotis mystacinus*), murin de Brandt (*Myotis brandtii*), murin de Bechstein (*Myotis bechsteinii*), murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*), murin de Natterer (*Myotis nattereri*), murin des marais (*Myotis dasycneme*) et murin d'Alcathoe (*Myotis alcathoe*).
- d. Les Oreillardes (groupement des *Plecotus* sp.) : oreillard roux (*Plecotus auritus*), oreillard gris (*Plecotus austriacus*)
- e. Les Rhinolophes (groupement des *Rhinolophus* sp.)⁸ : petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*), grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*)

La barbastelle présente des vocalises assez uniques et n'est donc incluse dans aucun groupe.

De plus, nous avons également ajouté un groupe général NoID Chiro, correspondant à toutes les séquences pouvant être considérées comme une chauve-souris. L'objectif étant de donner une information très générale. A la demande des services publics, cette catégorie est calculée sur l'année entière (voir partie 4.3.2. *Filtre et découpage temporel*)

La méthodologie pour les groupes suit la même approche des RL si ce n'est qu'il n'y a pas de poids considéré dans la régression logistique. Le tableau 9 ci-dessous montre les seuils conservés pour chaque groupe avec l'AUC, le TRP et le pourcentage de données conservées. Notez que les AUC sont généralement plus élevées pour les groupes que pour les espèces étant donné le nombre de données plus important. La base de données fiables correspond aux données pour lesquelles la méthode des RL est possible ET tout enregistrement qui a été validé.

Espèce	AUC	Seuil à partir duquel les données sont conservées	TPR (Précision)	Proportion des données conservées
NoID MYO	87.52	0	0.98	1

⁸ Nous avons décidé de garder un groupe pour les Rhinolophes même si les espèces présentes en Wallonie peuvent quasi toujours être identifiées à l'espèce avec certitude.

NoID PIP	93.85	0	0.99	1
NoID PLE	88,10	0	0.95	1
NoID RHI	92.21	0	1	1
NoID SER	87.55	0	0.98	1
NoID Chiro	73.87	0	0.95	1

Tableau 9 : Récapitulatif des données d'AUC, TPR et de la proportion gardée des données selon l'ISp conservé le cas échéant pour les groupes d'espèces.

4.3.2. Filtre et découpage temporel

L'objectif d'un référentiel est de comparer le nombre de contacts d'une espèce donnée par nuit. Il convient donc de s'accorder sur la définition de cette dernière. La base de données comprend des protocoles différents quant à la durée d'enregistrement nocturne. Les plus courants sont des enregistrements qui commencent à la tombée de la nuit jusqu'au lever du soleil ou avec une période supplémentaire de 30 minutes avant le coucher et après le lever du soleil. Cependant d'autres protocoles plus spécifiques à des situations ou projets locaux peuvent être mis en place et dès lors ne couvrir qu'une partie de la nuit. En outre, des problèmes opérationnels ou techniques d'enregistreurs peuvent aussi conduire à des nuits raccourcies. Afin d'avoir une base comparable pour ce référentiel, nous avons décidé de conserver les nuits d'une durée de 6h minimum.

Par ailleurs, l'activité des chauves-souris varie au cours de l'année en fonction des saisons (envol des jeunes, swarming et migration). Il est donc pertinent de procéder à des découpages temporels. Pour rappel, les référentiels français utilisent soit un découpage saisonnier (printemps-été-automne dans VigieChiro-ACTICHIRO) soit un découpage basé sur le cycle de vie des chauves-souris (01/04-15/06 : gestation; 16/06-31/08 : mise bas et élevage des jeunes; 01/09-15/11 : migration, dans le référentiel breton).

Pour la Wallonie, un découpage en deux périodes a également été appliqué, du 01/04 au 31/07 et du 01/08 au 31/10. La première période correspond à la période de retour au gîte, gestation et allaitement des jeunes. L'autre période correspond à la période du sevrage des jeunes, du swarming et de la migration automnale. Ce découpage permet de séparer deux périodes bien distinctes au niveau du cycle de vie des chauves-souris. Cette réalité se traduit d'ailleurs par une activité constatée dans les EIE pour l'éolien plus importante en aout-septembre par rapport à la période printanière (avril - juillet). Ceci justifie une date pivot au 31-07. Par ailleurs, il est également pratique courante d'avoir des paramètres des modules d'arrêt des éoliennes différents avant et après le 31-07.

4.3.3. Filtre matériel et altitude

Disca (2023) a comparé plusieurs enregistreurs passifs : un Batlogger WE-X, un GSM-Batcorder, un BatmodeS+, et deux SM3BAT équipés de micros différents. Le nombre et la qualité des fichiers enregistrés varient significativement entre les dispositifs. Barluet de Beauchesne et al. (2025) ont également testé le même protocole et ils arrivent également à la même conclusion que Disca. Ces différences de performances entre détecteurs ont aussi été mises en évidence dans une étude comparative en nacelle (Barré et al., 2023). Concernant ce biais, plusieurs stratégies sont envisageables :

- Utiliser un seul type de détecteur pour établir un référentiel d'activité ;

- Proposer un référentiel par type de détecteur ;
- Utiliser une unité de mesure moins sensible au matériel, par exemple la minute positive, tel que déjà suggéré par Miller (2011) puis Haquart et al. (2013).

Dans le cadre de ce projet, le recours à un seul type de détecteur entraînerait une perte substantielle de données, rendant impossible la construction d'un référentiel pour certaines espèces. De plus, cela introduirait des biais lors de la comparaison entre le référentiel produit avec un modèle de machine et l'activité mesurée par un utilisateur avec un modèle différent. L'utilisation de la métrique de la *minute positive* peut toutefois être envisagée afin d'atténuer les biais induits par l'emploi de différents types d'enregistreurs. Cette métrique repose sur le comptage de chaque minute au cours de laquelle la présence d'une chauve-souris est détectée, chaque minute étant considérée comme une occurrence. Elle facilite ainsi la comparaison de données issues de détecteurs distincts.

La base de données wallonne est majoritairement constituée d'enregistrements réalisés à l'aide de détecteurs provenant tous de la gamme *Wildlife Acoustics*. Nous avons donc choisi de ne conserver que les données provenant de cette gamme d'enregistreurs, le biais lié au type de détecteur pouvant, dans ce cas-ci, être considéré comme limité. Dans ce contexte, l'utilisation du nombre de contacts par nuit apparaît dès lors comme une approche raisonnable.

De plus, il est également important de considérer la hauteur du détecteur car l'activité des chauves-souris est fortement influencée par ce paramètre. Dans notre base de données, trop peu de données ont été récoltées en hauteur. La majorité des données proviennent de micros déployés à moins de 5m du sol. La création d'un référentiel pour les micros en altitude n'est pas envisageable. Le seul référentiel produit concerne des données récoltées à moins de 5 m du sol, l'ensemble des données en hauteur ont de ce fait été retirées de la base de données utilisée pour le construire.

4.3.4. Habitat et zone biogéographique

L'activité de chaque espèce (et groupe d'espèces - voir point 4.4.6) dépend forcément de l'habitat dans lequel les enregistrements sont réalisés. Casier et al. (2023) ont montré l'influence de la distance aux éléments ligneux sur le niveau d'activité acoustique des chauves-souris, en particulier pour les *short-range* et *mid-range echolocators* (figure 13). Un effet seuil net apparaît aux alentours de 50 m. Globalement un habitat "ouvert" comptabilise moins de contacts qu'un habitat bocager et/ou forestier, notamment à cause de la faible présence d'éléments ligneux pour former des corridors écologiques.

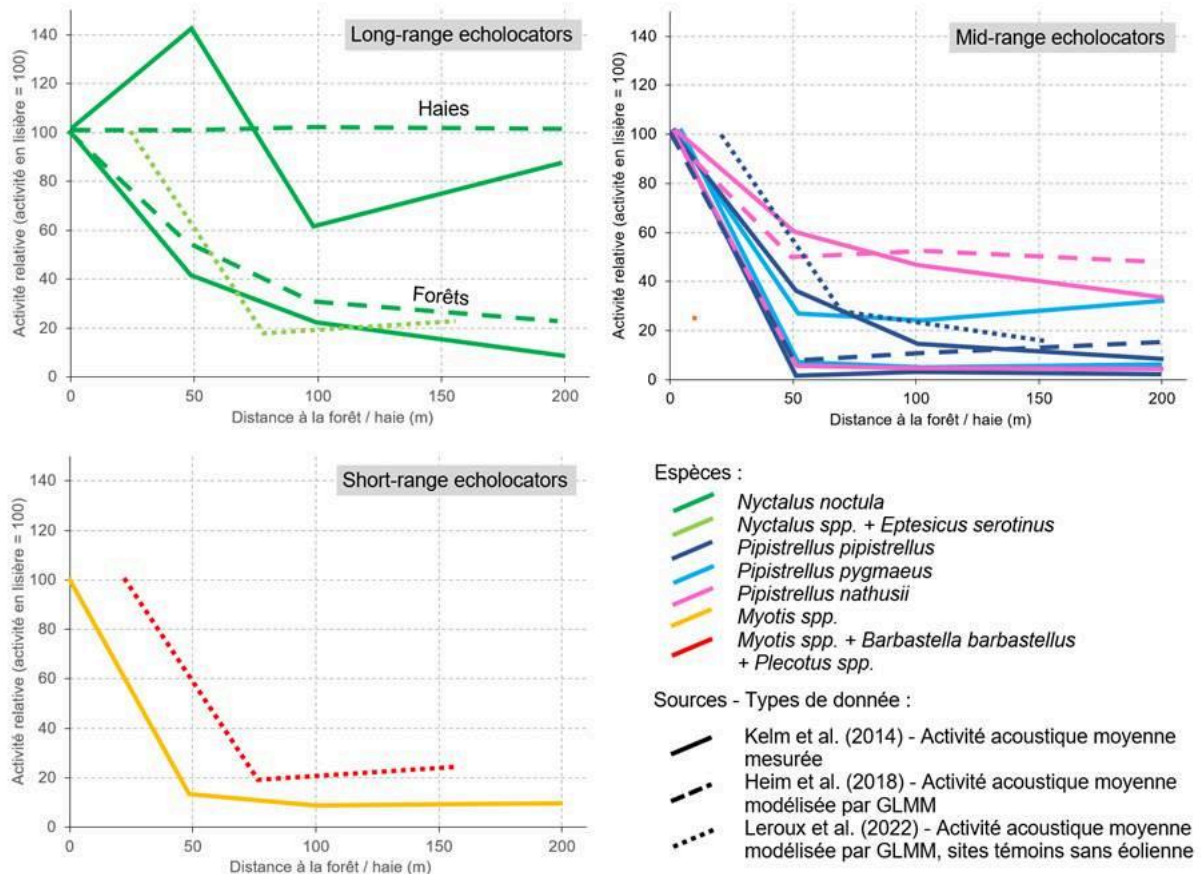


Figure 13 : Effet de l'éloignement par rapport à une haie ou une forêt sur l'activité acoustique moyenne des chauves-souris au sol en milieu ouvert. Casier et al. (2023).

Ainsi, pour chaque espèce/groupe d'espèce, nous avons construit un référentiel pour chaque paysage dit ouvert, lisière, forestier. Au total 2164 sites ont été catégorisés :

- (1) Les milieux sont considérés comme **forestiers** si 65% de la couverture d'une zone tampon de 50 m autour du point d'enregistrement est boisée (n= 838 sites).
- (2) Les milieux sont considérés comme des **lisières** si entre 25% et 65% de la couverture d'une zone tampon de 50 m autour du point d'enregistrement est boisée ou si la longueur totale des éléments linéaires ligneux est supérieure ou égale à 100m dans cette même zone tampon (n= 886 sites).
- (3) Les milieux sont considérés comme **ouverts** si moins de 25% de la couverture d'une zone tampon de 50 m autour du point d'enregistrement est boisée et si la longueur totale des éléments linéaires ligneux est inférieure à 100m (n= 440 sites).

Pour déterminer ces catégories, nous avons utilisé la couche Ecotopes du LifeWatch et la couche des éléments structurants du Paysage - ligneux (2021) dans un rayon de 50m autour de la localisation de l'enregistreur. Ces deux couches sont en accès libre. La couche Ecotopes décrit les unités écologiques homogènes d'un territoire. La couche des éléments structurants du Paysage contient les éléments surfaciques des Éléments Structurants du Paysage - ligneux surfaciques, à savoir les bosquets. En gardant les unités écologiques se référant à des milieux forestiers de la couche Ecotopes (LCCSb = 60,70,90) et les bosquets renseignés dans les éléments structurants, on obtient une couche vectorielle représentative des zones boisées.

Les éléments linéaires ligneux proviennent quant à eux de la couche des Éléments Structurant du Paysage (ESP) - linéaire ligneux. On y retrouve les haies et alignements d'arbres. Ces éléments sont aussi catégorisés selon leur ancienneté : éléments dits

inchangés, détruits ou nouveaux. Dans le cadre de ce projet, nous avons conservé uniquement les alignements et haies dits inchangés; les éléments nouveaux et détruits ne pouvant pas être considérés comme des corridors effectifs, soit car encore sous-développés, soit car absents.

Le rayon de 50 m a été choisi car il correspond au rayon moyen de détection d'une chauve-souris par un micro. Pour la majorité des chauves-souris, en particulier les espèces à écholocation de courte et moyenne portée, les cris ne sont détectables que dans un périmètre restreint autour de l'enregistreur. L'utilisation d'un rayon plus large inclurait des éléments ligneux qui ne contribuent pas directement à l'activité acoustique mesurée, ce qui introduirait un décalage entre l'habitat caractérisé et l'activité réellement détectée. À l'inverse, un rayon plus réduit risquerait de ne pas prendre en compte des éléments ligneux proches, tels que haies ou lisières, qui jouent un rôle important comme voies de déplacement ou zones de chasse. Le rayon de 50 m permet ainsi de caractériser l'habitat pertinent à l'échelle effective de détection des chauves-souris, tout en limitant les biais liés à une mauvaise correspondance entre habitat et activité enregistrée.

La figure 14 présente la distribution des sites en Wallonie selon leur catégorisation, avec un focus sur une zone type et 4 sites.

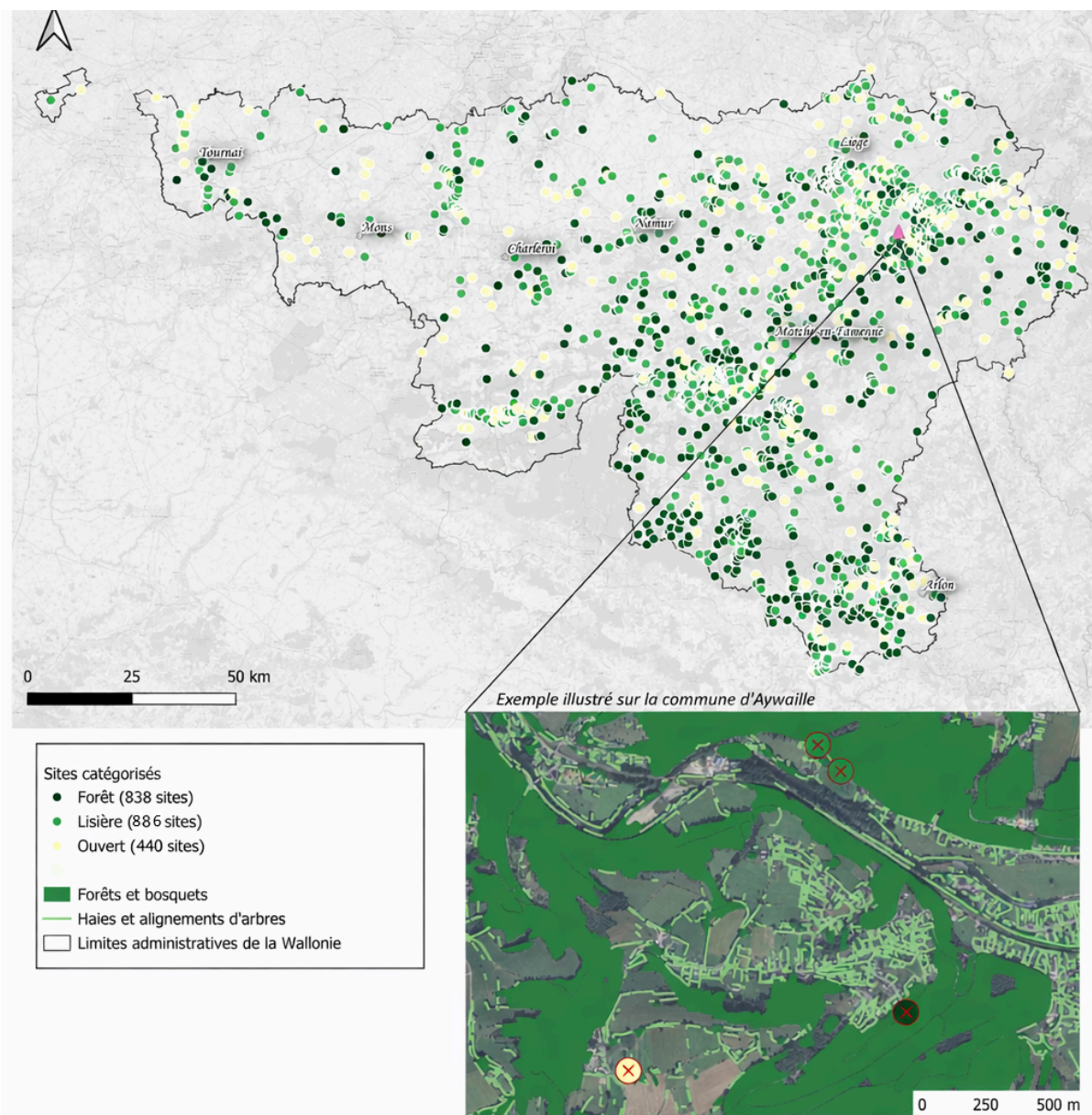


Figure 14 : Localisation des sites et leur catégorisation, avec un focus illustratif sur la commune d'Aywaille.

Concernant la possibilité d'un découpage en zones biogéographiques distinctes, cette question est étroitement liée à l'objectif du référentiel. Souhaite-t-on comparer des sites au sein d'une région restreinte (par exemple la Hesbaye, le Condroz, etc.) pour identifier ceux où une activité plus forte a été mesurée ? Ou souhaite-t-on réaliser cette comparaison à l'échelle de la Wallonie entière ? Dans la mesure où les objectifs de développement éolien sont fixés aux échelles européenne, nationale (Belgique) et régionale (Wallonie), mais pas infrarégionale, il nous a semblé que l'échelle régionale était la plus pertinente. Il a par ailleurs été convenu avec le SPW-ARNE que l'objectif du référentiel est bien de fournir un outil d'analyse à l'échelle de la région wallonne entière.

4.3.5. Météo

Le référentiel du groupe mammalogique breton a exclu les données durant les nuits dont la météo était défavorable à l'activité des chauves-souris (plus de 9 mm de précipitations cumulées ou une température inférieure à 3°C). Ce tri de données est intéressant mais il est probablement difficile à mettre en œuvre d'un point de vue technique. Il a été envisagé d'utiliser des réanalyses météorologiques ([Climate reanalysis | Copernicus](#)) permettant d'associer de manière standard et automatique des conditions météo à chaque nuit d'enregistrement et en chaque lieu.

De manière pragmatique, nous avons cependant considéré que l'exclusion des nuits d'enregistrement réalisées durant des conditions météorologiques défavorables était non justifiée, en particulier dans un contexte d'Evaluation des Incidences sur l'Environnement de projets tels que le développement éolien où les protocoles imposent un enregistrement continu sur plusieurs mois, durant lesquels des conditions météo bonnes et défavorables sont inévitablement rencontrées dans des proportions variables. Par ailleurs, ce principe impliquerait qu'on ne pourrait utiliser le référentiel que pour comparer des nuits enregistrées dans de très bonnes conditions, et ces nuits ne seraient pas toujours faciles à isoler dans les rapports fournis par les bureaux d'étude. Nous avons donc choisi de ne pas filtrer les données sur base de paramètres météorologiques.

4.3.6. Espèce / Groupe d'espèces

Certains référentiels produits à l'étranger que nous avons étudiés traitent chaque espèce séparément. Sur base des données disponibles, nous avons estimé qu'un référentiel pouvait être considéré comme fiable à partir du moment où 20 nuits étaient comptabilisées (par "nuit", nous entendons ici une nuit complète d'enregistrement sur un site donné). Ainsi, en comptant 2 périodes (gestation - allaitement ; sevrage des jeunes, swarming et migration automnale), 3 catégories de milieux (forêt, lisière, ouvert), et 29 espèces et groupes d'espèces en Wallonie, on pourrait s'attendre à obtenir 174 référentiels différents. Forcément cette catégorisation réduit le nombre de nuits par référentiel. Sur base du pivot de minimum 20 nuits par catégorie, nous avons pu construire 126 référentiels. Le tableau récapitulatif du nombre de nuits par catégorie est présenté en annexe 4.

Cependant, leur construction a mis en évidence que pour une série d'espèces, le quantile 25 était égal au quantile 75 avec 1 seul contact recouvrant près de 75% des nuits de la catégorie. La même observation a été faite pour des cas où le quantile 75 était égal au quantile 95. Il s'agit souvent de situations où seuls les contacts validés manuellement constituent le jeu de données disponible (notamment pour les espèces du genre *Myotis* où les algorithmes de pré-tri sont peu performants). Celui-ci est alors très souvent constitué de nuits où seulement un contact a été vérifié pour assurer la présence de l'espèce. Dès lors le référentiel d'activité n'a plus beaucoup de sens. Les référentiels où $Q25=Q75$ ou $Q75=Q95$ ont donc été supprimés. Finalement, 78 référentiels complets ont été dressés, qui concernent 13 espèces ou groupes d'espèces.

Les 8 espèces pour lesquelles un référentiel a pu être construit pour chaque catégorie (période et habitat) sont les suivantes : le Grand murin, le Murin de Daubenton, le Murin de Natterer, la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine commune. Il a donc bien été possible de construire un référentiel pour les 6 espèces de chauves-souris dites sensibles à l'éolien, tel que demandé par l'administration.

Dans le cas où l'utilisateur voudrait connaître l'activité relative de certaines espèces ne figurant pas parmi les référentiels produits, il est invité à se référer au groupe acoustique de

l'espèce, permettant d'obtenir une information intéressante, même si résumée avec d'autres espèces proches acoustiquement. Ce regroupement permet notamment de conserver et donc considérer dans l'analyse finale des enregistrements parfois difficiles à identifier jusqu'à l'espèce, notamment en cas de faible détection. En outre, le référentiel NoID Chiro permet de considérer l'activité globale d'un site.

4.4. Classes d'activité

Les référentiels que nous avons rencontrés à l'étranger proposent 3, 4 ou 5 classes. Pour les référentiels qui utilisent un classement des nuits sur base de percentiles, le découpage se fait soit par classes de même taille (par exemple Ecobat avec 5 classes de chacune 20 % des données), soit avec une classe supérieure de plus petite taille pour caractériser les sites de "très forte activité". Il s'agit de la classe des percentiles 98 à 100 des référentiels français par exemple. Le choix d'inclure ou pas cette classe plus réduite dépend selon nous de l'objectif poursuivi. Cette classe permet d'identifier les rares "hot spots" d'activité des chauves-souris, qu'il faudrait raisonnablement protéger au maximum. Dans le cadre de ce projet, et au vu de la quantité de données disponibles, nous avons décidé de découper en 4 classes d'activité (+ une classe d'activité nulle) avec une classe très large pour les activités "moyennes" :

- 0 contact : activité nulle
-]0-25 % = activité faible
-]25-75 % = activité moyenne
-]75-95% = activité élevée
-]95-100 % = activité très élevée.

Nous avons préféré utiliser le quantile 95 plutôt que 98 car ce dernier repose sur moins d'une nuit théorique dans le cas où l'on a près de 20 nuits seulement.

4.5. Référentiel pour des points d'écoute actifs de 5 minutes

Des enregistrements actifs versus passifs ne peuvent pas être pris en considération de la même façon à cause des biais que l'enregistrement actif peut causer. Un premier biais de l'enregistrement actif est lié à la présence d'un humain : il se déplace à pied ou en voiture et donc dérange les animaux au cours de son cheminement. Par ailleurs, d'une personne à l'autre, les conditions d'enregistrement ne sont pas toujours les mêmes (hauteur et orientation du micro par exemple). De plus, l'activité des chauves-souris est plus marquée en début de nuit et puis fluctue en fonction de chaque espèce, avec un pic d'activité en fin de nuit pour certaines espèces. L'enregistreur passif lisse ces variations lorsqu'il travaille sur une nuit complète, alors qu'en général l'enregistrement actif ne concerne que les premières heures après le coucher du soleil. Il manque donc une partie de l'information captée par l'enregistreur passif. Par ailleurs, si on réduit l'analyse à un point d'écoute de 5 minutes, si ce point d'écoute est trop proche de l'heure du coucher de soleil, il pourrait ne pas être représentatif de toutes les espèces de chauves-souris, vu que certaines d'entre elles émergent plus tard dans la soirée.

Afin de vérifier cette hypothèse, nous avons fait un test sur base de données passives validées. Nous avons extrait aléatoirement 5 minutes d'enregistrement dans les 2 premières heures de la nuit et nous avons comparé le nombre d'espèces enregistrées à celles enregistrées pour la même nuit complète.

Le protocole sur une nuit entière contacte significativement plus d'espèces que le protocole de 5 minutes. Bien que les médianes soient identiques (2 espèces), la distribution des

relevés nocturnes tend vers des valeurs plus élevées, ce qui est confirmé par le test de Wilcoxon ($p < 2.2 \times 10^{-16}$, $r = 0.25$) (Figure 15 A. et B.).

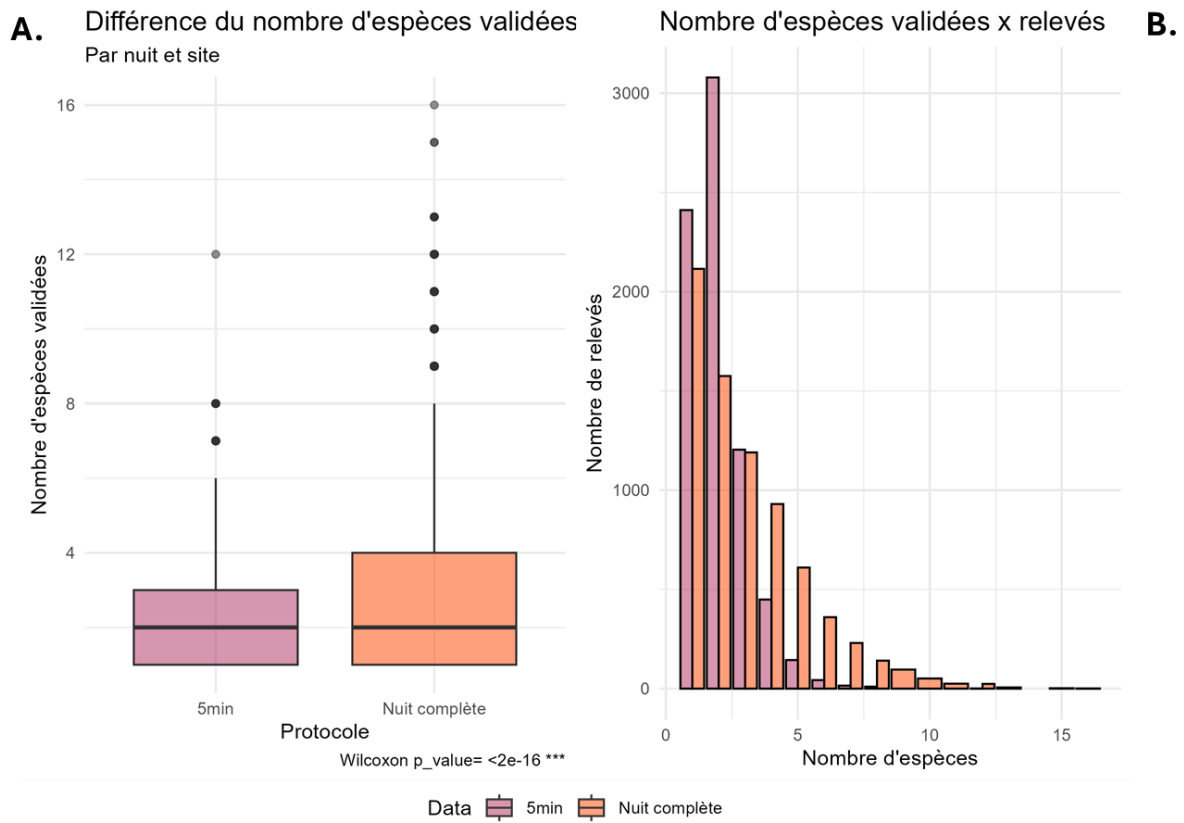


Figure 15 : Résultats de l'analyse comparative des protocoles de 5 minutes versus une nuit complète. A. Résultat du test de Wilcoxon avec la moyenne et la distribution du nombre d'espèces validées selon le protocole; B. Distribution du nombre de relevés selon le nombre d'espèces contactées.

Ces résultats confirment que les données récoltées par les points d'écoute de 5 minutes sont peu robustes pour décrire l'activité chiroptérologique d'un lieu. Ceci n'enlève rien à la pertinence de ce protocole pour identifier la présence de certaines espèces à certains endroits du paysage ou pour sentir empiriquement l'attractivité relative d'un site par rapport à un autre proche, mais ces différents éléments sont, à notre avis, difficilement comparables à un quelconque référentiel.



Partie 5 : Résultats et Discussion

5. Résultats

5.1. Référentiels produits - Application

Au vu des différentes catégories de données (combinaison habitat / période / espèce), le nombre de référentiels produits est considérable. En effet, avec 2 découpages périodiques (gestation - allaitement versus sevrage des jeunes, swarming et migration automnale), 3 types d'habitats différents (ouvert, lisière, forestier) et 29 espèces et groupes d'espèces, un total théorique de 174 référentiels aurait pu être produit. La quantité et la qualité des données disponibles à l'échelle de la région wallonne ont limité ce nombre à 78 référentiels suffisamment fiables pour être utilisés.

Afin d'en faciliter la consultation, Ecofirst a produit, à toute fin utile, une application interactive ShinyApp proposant des menus déroulants pour sélectionner les catégories et ainsi afficher le référentiel correspondant. Lorsque l'on inscrit le nombre de contacts, une phrase annonce en direct si l'on est dans une nuit avec une activité considérée comme nulle, faible, moyenne, élevée ou très élevée. L'application a été réalisée avec R-Portable et n'est pour l'instant disponible que sur Windows. À l'avenir, il serait possible de la faire fonctionner sur Linux ou Mac avec Docker par exemple, ce qui permettrait également son déploiement. Cette application pourrait également être hébergée sur un serveur de l'administration pour le rendre plus accessible.

5.1.1 Onglet Accueil

La figure 16 correspond à l'onglet accueil de l'application. Dans cet onglet, les informations essentielles qui ont permis la construction du référentiel sont résumées. Les partenaires y sont aussi référencés. Une courte introduction donne d'abord le contexte du projet. Ensuite, les catégorisations de la période, de l'habitat et des regroupements en groupe d'espèces sont explicités. Cette explication a pour but de permettre à l'utilisateur de prendre en main l'application en toute connaissance et d'appliquer les mêmes catégorisations à ses données afin de permettre une comparaison juste.

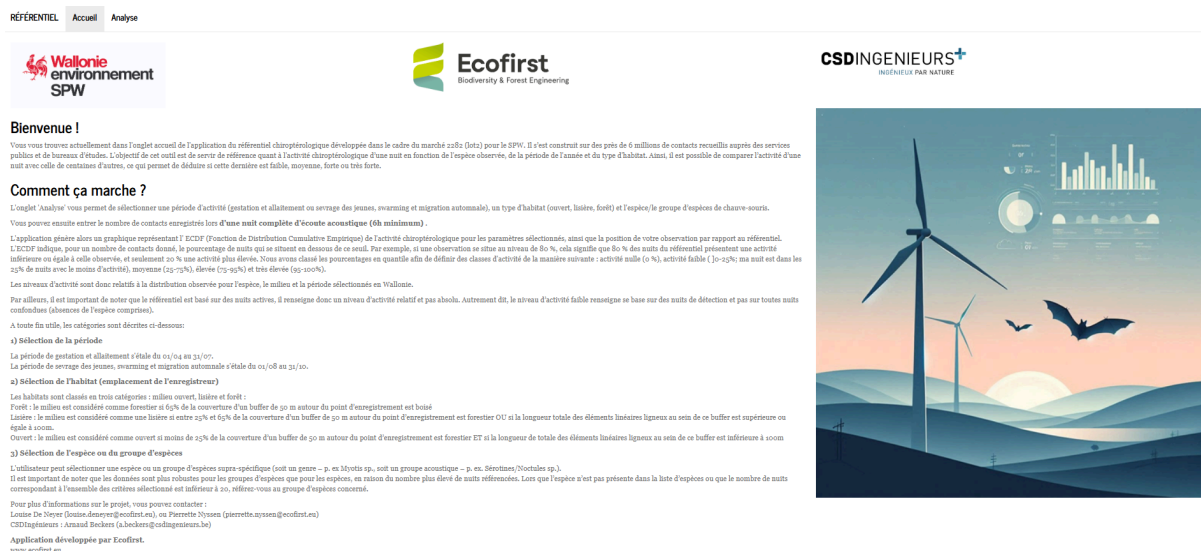


Figure 16 : Onglet d'accueil de l'application, avec le texte introductif et les explications quant à l'utilisation de celle-ci.

5.1.2 Onglet Analyse

L'onglet Analyse est présenté à la figure 17. L'utilisateur est invité à rentrer les différentes informations relatives à la nuit qu'il veut comparer. Le point 1. est un menu déroulant permettant de sélectionner la période adéquate, le point 2. est un menu déroulant permettant de sélectionner l'habitat (emplacement de l'enregistreur), le point 3. correspond au taxon étudié (espèces ou groupe d'espèces). À partir de ces 3 premiers renseignements, un graphe s'affiche (point 5.), correspondant à la proportion cumulée du nombre de nuits en fonction du nombre de contacts. Les quantiles 25, 75 et 95, qui constituent les bornes des classes d'activité, s'affichent également. Juste en-dessous du graphe s'affichent le nombre de nuits et le nombre de sites sur lesquels les données du graphe s'appuient (ceci permet donc d'évaluer la robustesse du référentiel dans cette catégorie) (point 7.) L'utilisateur peut renseigner un nombre de contacts pour une nuit complète d'enregistrement (point 4.). Ce nombre est retranscrit sur le graphique et un message apparaît "Pour cette nuit, l'activité chiroptérologique est jugée (...)" (point 6.). Selon le nombre de contacts renseignés, et sur base de la position de ce nombre par rapport aux quantiles, le nombre de contacts est estimé comme nul ($n = 0$); faible ($0 < n \leq Q25$), moyen ($Q25 < n \leq Q75$), élevé ($Q75 < n \leq Q95$) ou très élevé ($n > Q95$).

Ainsi, l'utilisateur est directement renseigné de l'activité de sa nuit complète vis-à-vis du référentiel. Il peut également simplement regarder le tableau renseignant les seuils d'activité pour l'espèce et les catégories sélectionnées (point 8.).



Figure 17 : Onglet analyse de l'application, avec la visualisation du référentiel (point 5 et 7) selon les catégories choisies (1,2,3). Il est possible d'inscrire le nombre de contacts d'une nuit (4) pour voir s'afficher le résultat sous forme écrite (point 6) et dans le graphique directement. Le tableau (point 8) permet d'avoir les valeurs seuils directement

5.2. Référentiels produits - Tableaux

Les tableaux individuels pour chaque catégorie (combinaison habitat / période / espèce), sont présentés de manière synthétique par habitat dans les 3 tableaux suivants.

Tableau 10 : Récapitulatif des référentiels produit pour les deux périodes (gestation et allaitement versus migration automnale et swarming) et les 13 espèces et groupes d'espèces par habitat "Ouvert".

OUVERT					
Période	Espèce / groupe	Faible	Moyen	Fort	Très élevé
été	<i>Epster</i>	]0-1]	]1-4]	]4-17]	>17
automne	<i>Epster</i>	]0-1]	]1-3]	]3-6]	>6
été	<i>Myomyo</i>	]0-1]	]1-3]	]3-6]	>6
automne	<i>Myomyo</i>	]0-1]	]1-4]	]4-8]	>8
été	<i>Myodau</i>	]0-1]	]1-2]	]2-3]	>3
automne	<i>Myodau</i>	]0-1]	]1-2]	]2-4]	>4
été	<i>Myonat</i>	]0-1]	]1-4]	]4-16]	>16
automne	<i>Myonat</i>	]0-1]	]1-4]	]4-19]	>19
été	<i>Nycnoc</i>	]0-1]	]1-3]	]3-6]	>6
automne	<i>Nycnoc</i>	]0-1]	]1-2]	]2-4]	>4
été	<i>Nyclei</i>	]0-1]	]1-5]	]5-21]	>21
automne	<i>Nyclei</i>	]0-1]	]1-3]	]3-22]	>22
été	<i>Pippip</i>	]0-60]	]60-284]	]284-1292]	>1292
automne	<i>Pippip</i>	]0-30]	]30-233]	]233-1439]	>1439
été	<i>Pipnat</i>	]0-1]	]1-6]	]6-20]	>20
automne	<i>Pipnat</i>	]0-2]	]2-7]	]7-29]	>29
été	<i>Myo sp.</i>	]0-2]	]2-13]	]13-87]	>87
automne	<i>Myo sp.</i>	]0-3]	]3-20]	]20-158]	>158
été	<i>Pip sp.</i>	]0-56]	]56-282]	]282-1281]	>1281
automne	<i>Pip sp.</i>	]0-32]	]32-217]	]217-1342]	>1342
été	<i>Ple sp.</i>	]0-1]	]1-5]	]5-18]	>18
automne	<i>Ple sp.</i>	]0-2]	]2-8]	]8-22]	>22
été	<i>Rhi sp.</i>	]0-1]	]1-3]	]3-15]	>15
automne	<i>Rhi sp.</i>	]0-1]	]1-3]	]3-20]	>20
été	<i>Ser sp.</i>	]0-5]	]5-38]	]38-210]	>210
automne	<i>Ser sp.</i>	]0-3]	]3-17]	]17-93]	>93
	<i>NoID Chiro</i>	]0-62]	]62-356]	]356-1512]	>1512

Tableau 11 : Récapitulatif des référentiels produit pour les deux périodes (gestation et allaitement versus migration automnale et swarming) et les 13 espèces et groupes d'espèces par habitat "Lisière".

LISIÈRE					
Période	Espèce / groupe	Faible	Moyen	Fort	Très élevé
été	<i>Epster</i>	]0-1]	]1-7]	]7-37]	>37
automne	<i>Epster</i>	]0-1]	]1-3]	]3-8]	>8
été	<i>Myomyo</i>	]0-1]	]1-3]	]3-5]	>5
automne	<i>Myomyo</i>	]0-1]	]1-3]	]3-4]	>4
été	<i>Myodau</i>	]0-1]	]1-2]	]2-4]	>4
automne	<i>Myodau</i>	]0-1]	]1-2]	]2-4]	>4
été	<i>Myonat</i>	]0-1]	]1-4]	]4-10]	>10
automne	<i>Myonat</i>	]0-1]	]1-4]	]4-13]	>13
été	<i>Nycnoc</i>	]0-1]	]1-2]	]2-4]	>4
automne	<i>Nycnoc</i>	]0-1]	]1-2]	]2-3]	>3
été	<i>Nyclei</i>	]0-1]	]1-6]	]6-44]	>44
automne	<i>Nyclei</i>	]0-1]	]1-3]	]3-19]	>19
été	<i>Pippip</i>	]0-132]	]132-663]	]663-2058]	>2058
automne	<i>Pippip</i>	]0-132]	]132-856]	]856-2860]	>2860
été	<i>Pipnat</i>	]0-2]	]2-7]	]7-28]	>28
automne	<i>Pipnat</i>	]0-2]	]2-14]	]14-122]	>122
été	<i>Myo sp.</i>	]0-4]	]4-26]	]26-256]	>256
automne	<i>Myo sp.</i>	]0-5]	]5-53]	]53-362]	>362
été	<i>Pip sp.</i>	]0-135]	]135-676]	]676-2200]	>2200
automne	<i>Pip sp.</i>	]0-114]	]114-834]	]834-2869]	>2869
été	<i>Ple sp.</i>	]0-1]	]1-5]	]5-17]	>17
automne	<i>Ple sp.</i>	]0-1]	]1-7]	]7-20]	>20
été	<i>Rhi sp.</i>	]0-1]	]1-4]	]4-16]	>16
automne	<i>Rhi sp.</i>	]0-1]	]1-6]	]6-50]	>50
été	<i>Ser sp.</i>	]0-6]	]6-61]	]61-511]	>511
automne	<i>Ser sp.</i>	]0-4]	]4-28]	]28-155]	>155
	<i>NoID Chiro</i>	]0-175]	]175-1015]	]1015-3048]	>3048

Tableau 12 : Récapitulatif des référentiels produit pour les deux périodes (gestation et allaitement versus migration automnale et swarming) et les 13 espèces et groupes d'espèces par habitat "Forêt".

FORÊT					
Période	Espèce / groupe	Faible	Moyen	Fort	Très élevé
été	<i>Epster</i>	]0-1]	]1-4]	]4-28]	>28
automne	<i>Epster</i>	]0-1]	]1-2]	]2-9]	>9
été	<i>Myomyo</i>	]0-1]	]1-4]	]4-8]	>8
automne	<i>Myomyo</i>	]0-1]	]1-3]	]3-8]	>8
été	<i>Myodau</i>	]0-1]	]1-2]	]2-4]	>4
automne	<i>Myodau</i>	]0-1]	]1-2]	]2-4]	>4
été	<i>Myonat</i>	]0-1]	]1-4]	]4-23]	>23
automne	<i>Myonat</i>	]0-1]	]1-5]	]5-19]	>19
été	<i>Nycnoc</i>	]0-1]	]1-2]	]2-5]	>5
automne	<i>Nycnoc</i>	]0-1]	]1-2]	]2-5]	>5
été	<i>Nyclei</i>	]0-1]	]1-3]	]3-11]	>11
automne	<i>Nyclei</i>	]0-1]	]1-3]	]3-8]	>8
été	<i>Pippip</i>	]0-97]	]97-760]	]760-2398]	>2398
automne	<i>Pippip</i>	]0-77]	]77-560]	]560-2263]	>2263
été	<i>Pipnat</i>	]0-2]	]2-7]	]7-30]	>30
automne	<i>Pipnat</i>	]0-1]	]1-4]	]4-20]	>20
été	<i>Myo sp.</i>	]0-4]	]4-33]	]33-177]	>177
automne	<i>Myo sp.</i>	]0-5]	]5-40]	]40-204]	>204
été	<i>Pip sp.</i>	]0-82]	]82-723]	]723-2371]	>2371
automne	<i>Pip sp.</i>	]0-70]	]70-558]	]558-2267]	>2267
été	<i>Ple sp.</i>	]0-1]	]1-5]	]5-20]	>20
automne	<i>Ple sp.</i>	]0-1]	]1-4]	]4-15]	>15
été	<i>Rhi sp.</i>	]0-1]	]1-3]	]3-11]	>11
automne	<i>Rhi sp.</i>	]0-1]	]1-4]	]4-25]	>25
été	<i>Ser sp.</i>	]0-3]	]3-37]	]37-196]	>196
automne	<i>Ser sp.</i>	]0-2]	]2-23]	]23-182]	>182
	<i>NoID Chiro</i>	]0-105]	]105-847]	]847-2711]	>2711

5.3. Utilisation des référentiels pour des enregistrements de plusieurs nuits

Le référentiel doit idéalement être utilisé pour caractériser l'activité d'une nuit et non pas la moyenne d'activité de plusieurs nuits. L'utilisation de l'activité moyenne (nombre moyen de contacts par nuit) a en effet été critiquée par Lintott et Mathews (2018) qui considèrent que l'activité des chauves-souris ne satisfait pas, d'un point de vue mathématique, aux conditions qui permettent d'utiliser valablement la moyenne. Les raisons évoquées sont l'occurrence de pic d'activités, la forte dépendance de la mesure aux conditions météorologiques et biotiques (émergences d'insectes) et l'effet des nuits à 0 contact (activité nulle). Ils recommandent d'utiliser l'activité médiane par nuit ou l'intervalle interquartile (Q25-Q75). Par ailleurs, lorsque l'on enregistre sur un grand nombre de nuits, l'activité des chauves-souris (et des différentes espèces) se présente assez logiquement selon une distribution en courbe de Gauss. Il est assez facile de comprendre que les données moyennes et médianes dans ce cas vont assez naturellement quasi toujours tomber dans une classe d'activité "moyenne". Les médianes lissent mieux les valeurs extrêmes que les moyennes mais toutes deux sont finalement un paramètre résumé très réducteur des données et de leur amplitude au sein du site / de la période étudiés.

Selon Amirault et al. (2022), la fréquence relative des occurrences d'importance écologique (par exemple, le nombre de nuits où une chauve-souris rare est rencontrée sur un site de développement proposé) permettrait de mieux appréhender les conséquences probables du projet étudié que si l'on se contentait de présenter la moyenne des occurrences de chauve-souris. Par ailleurs, des auteurs comme Gessner (2015) utilisent le nombre de contacts maximal entre toutes les nuits afin de déterminer l'activité des chauves-souris. Il n'y a donc pas d'unanimité sur le choix du ou des paramètres statistiques à utiliser.

Au regard de ces différents éléments et des tests menés (voir section 5.4 ci-après), nous conseillons idéalement de comparer au référentiel chaque nuit individuelle et de regarder la distribution d'activité de ces nuits comme c'est le cas pour le référentiel Ecobat (voir partie 2.2.1.). De cette manière, il sera possible de se rendre compte du nombre de nuits avec une activité très élevée/élevée/moyenne/faible/nulle sur un même site. En complément, une valeur synthétique telle que la médiane peut éventuellement être utilisée. Celle-ci peut être calculée soit directement à partir du nombre de contacts par nuit, soit, conformément à la méthodologie Ecobat, à partir des percentiles attribués à chaque nuit d'enregistrement par comparaison avec le référentiel. Dans ce dernier cas, la médiane des percentiles représente le niveau d'activité "typique" du site par rapport au référentiel.

L'utilisation appropriée des référentiels produits est détaillée à la section 5.5.

5.4. Comparaison des référentiels produits avec des études existantes

5.4.1 Objectifs

Afin de valider le référentiel obtenu, des tests avec des données indépendantes, récoltées au sol, ont été réalisés. Ces tests ont consisté à comparer l'évaluation du niveau d'activité des chauves-souris réalisée dans le passé par CSD dans le cadre d'études d'incidences sur l'environnement de projets éoliens, avec la caractérisation fournie sur les mêmes données par le référentiel.

Ces tests ont rencontré différents objectifs :

- Vérifier qu'il n'y ait pas d'erreurs évidentes dans les référentiels ;
- Vérifier qu'il y ait bien une variabilité dans les résultats. En effet, si le référentiel indique une même valeur d'activité pour chaque site (qu'elle soit faible, moyenne ou élevée), il est probable qu'il ne remplisse pas sa fonction d'aide à l'évaluation des incidences de projets éoliens;
- Analyser les différences entre l'appréciation d'experts dans les EIE et l'appréciation indiquée par l'utilisation du référentiel.

5.4.2. Méthode

Dans les EIE utilisées, réalisées par CSD, seule est caractérisée l'activité chiroptérologique moyenne (d'avril à octobre), pour l'ensemble des chauves-souris (toutes espèces confondues). Cette caractérisation a soit été réalisée sur base d'un référentiel partiel, élaboré par CSD sur base d'un échantillon de données assez réduit en sa possession, soit sur base d'un avis d'expert.

Afin de confronter des grandeurs comparables, les tests ont donc aussi été effectués sur l'activité moyenne, même si l'usage de la moyenne est critiqué par certains auteurs (voir section précédente). Les deux périodes temporelles définies dans le référentiel ont été analysées séparément : 01/04-31/07 et 01/08-31/10. Les nuits comparées pouvaient être réparties sur les deux périodes testées ou parfois uniquement sur l'une des deux périodes. Au total, quatre espèces et deux groupes d'espèces ont été sélectionnées :

- Pipistrelle commune;
- Grand murin;
- Sérotine commune;
- Noctule de Leisler;
- Murins toutes espèces confondues (appelés par la suite Murins);
- Sérotules toutes espèces confondues (appelées par la suite Sérotules).

Cette sélection s'est basée sur l'abondance de l'espèce (Pipistrelle commune) ou sur les enjeux par rapport à la collision ou à l'effarouchement que constituent les projets éoliens (autres espèces et groupes).

Les sites sélectionnés proviennent d'EIE que CSD Ingénieurs a réalisées et dont les données sont publiques. Deux critères de sélection ont été utilisés :

1. couvrir une large gamme d'activité des chauves-souris (donc à la fois des sites où l'activité avait été jugée faible, et des sites où l'activité avait été jugée forte ou très forte) ;
2. couvrir les trois types d'habitats renseignés par le référentiel.

On notera à ce sujet que la majorité des mats de mesures installés dans des massifs forestiers pour étudier des projets éoliens en forêt correspondent dans le référentiel à des milieux ouverts, car ils ont été installés dans des mises à blanc ou des clairières, considérées comme des milieux ouverts selon la méthodologie suivie pour la caractérisation des milieux lors de la création des référentiels..

Au total, quatre tests et confrontations entre le référentiel créé et les conclusions des EIE ont été réalisés. Dans les trois premiers tests, l'activité moyenne pour chaque espèce/groupe a été calculée en additionnant l'activité de chaque nuit et en divisant par le nombre total de nuits d'enregistrement, y compris les nuits sans contact de l'espèce ou groupe comparé. Dans le quatrième test, réalisé sur trois sites, la moyenne a été calculée uniquement sur base des nuits avec au moins un contact de l'espèce considérée (donc en enlevant les nuits à activité nulle). Pour quelques sites, nous avons aussi fait l'exercice avec les valeurs médianes, pour comparer les résultats avec ceux obtenus sur les moyennes.

5.4.3 Résultats

Les premiers tests ont permis de mettre en lumière des problèmes dans le code source générant le référentiel, ainsi que dans la sélection des données de base. Ces problèmes ont été résolus pour les derniers tests, dont les résultats sont présentés ci-dessous.

Les résultats du troisième test sur base des valeurs d'activité moyennes, y compris les nuits sans contacts, sont présentés au tableau suivant.

Identifiant du site	8	2	1	3	6	10	5	7	9	11
Région de Wallonie	Hesbaye	Région limoneuse hennuyère	Ardenne centrale	Ardenne du nord	Ardenne centrale et du sud	Lorraine belge	Région limoneuse hennuyère	Ardenne centrale	Région limoneuse hennuyère	Ardenne du Nord
Habitat au droit du détecteur	Culture	Mise à blanc dans une forêt feuillue	Lisière	Mise à blanc	Mise à blanc	Culture < 200 m d'une forêt feuillue	Zoning industriel avec alignements d'arbres	Mise à blanc dans une grande forêt résineuse	Prairie en lisière forestière feuillue	Layon herbeux entre deux plantations résineuses
Habitat selon le référentiel	Ouvert						Lisière			Forêt
Détecteur	SM3	SM3	SM4	SM3	SM3	SM3	SM4	SM3	SM2	SM4
Caractérisation EIE	Non mentionné	Forte	Forte	Non mentionnée	Non mentionnée	Très forte	Très importante	Moyenne avec activité forte du grand murin	Faible	Très forte
Caractérisation selon le référentiel										
Pipistrelle commune p1	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	faible	élevée	faible	faible	moyenne
Pipistrelle commune p2	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	faible	moyenne
Grand murin p1	/	/	moyenne	faible	faible	moyenne	/	faible	/	faible
Grand murin p2	/	/	moyenne	moyenne	faible	moyenne	/	élevée	/	faible
Murins p1	moyenne	faible	moyenne	faible	faible	moyenne	faible	moyenne	faible	moyenne
Murin p2	faible	moyenne	moyenne	moyenne	faible	moyenne	faible	moyenne	faible	moyenne
Sérotules p1	faible	élevée	moyenne	moyenne	faible	moyenne	moyenne	faible	faible	moyenne
Sérotules p2	moyenne	moyenne	moyenne	élevée	moyenne	moyenne	faible	moyenne	faible	faible
Sérotine commune p1	faible	très élevée	élevée	élevée	faible	élevée	faible	faible	faible	moyenne
Sérotine commune p2	faible	moyenne	élevée	élevée	faible	moyenne	faible	moyenne	faible	/
Noctule de Leisler p1	faible	très élevée	moyenne	élevée	faible	moyenne	faible	moyenne	faible	/
Noctule de Leisler p2	faible	moyenne	élevée	élevée	faible	faible	faible	moyenne	/	/

Tableau 13 : Résultat de la confrontation entre le niveau d'activité estimé par CSD dans 10 EIE et les niveaux fournis par le référentiel pour un échantillon d'espèces et de groupes d'espèces, sur base de l'activité moyenne par période, y compris les nuits d'activité nulle. p1 = 01/04-31/07, p2 = 01/08-31/10.

Les enseignements de ce tableau sont les suivants :

- Le référentiel met bien en évidence une variabilité de niveau d'activité entre les sites; il semble donc utile pour mettre en évidence des différences d'impacts entre les projets éoliens;
- Dans la mesure où la pipistrelle commune représente généralement ~90 % des contacts sur les sites éoliens, le niveau d'activité pour cette espèce devrait souvent correspondre à l'évaluation globale réalisée dans le cadre de l'EIE par les experts. La lecture des deux lignes du tableau relatives à la pipistrelle commune montre que ce n'est souvent pas le cas. Au vu du nombre très élevé de données de pipistrelles communes utilisées pour réaliser le référentiel, sa robustesse pour cette espèce est difficile à mettre en cause. Il est donc probable que ces évaluations menées dans le passé dans le cadre des EIE, avec des référentiels partiels ou via un avis d'expert, ne reflétaient pas correctement le niveau d'activité de la pipistrelle commune à l'échelle de la Wallonie (pour l'habitat sélectionné). C'est particulièrement vrai pour les premiers projets éoliens en forêt, pour lesquels CSD ne disposait pas de point de comparaison valable et se référait, à défaut de mieux, aux niveaux d'activité habituellement mesurés dans les plaines agricoles pour caractériser les niveaux d'activité sur les sites forestiers.
- Il y a des concordances entre certains niveaux renseignés par le référentiel et la caractérisation faite dans l'EIE, par exemple pour les sites 1 et 2 pour la sérotine commune et la noctule de Leisler, le site 5 pour la pipistrelle commune, ou le site 7 pour le grand murin. L'activité faible du site 9 évaluée par la caractérisation de l'EIE s'avère confirmée par le référentiel également.
- Il y a aussi des divergences, par exemple pour le site 11 (un des premiers projets éoliens en forêt étudié par CSD); dans ce cas, il apparaît que CSD avait probablement surestimé les niveaux d'activité dans ce type de milieu, par manque d'expérience en milieu forestier. En effet, l'activité en milieu forestier est globalement plus importante qu'en milieu ouvert, ce qui fait qu'un nombre de contacts qui paraît important lorsqu'on travaille habituellement en milieu ouvert n'est finalement pas si exceptionnel lorsqu'on le compare au référentiel en milieu forestier.
- Les résultats fournis par le référentiel pour la sérotine commune et la noctule de Leisler pour les sites 1, 2 et 3 sont élevés et nous étonnent. Une explication possible est qu'il s'agit de mâts de mesures installés en forêt ou en lisière (à environ 40 m des arbres), mais qui correspondent à des milieux ouverts selon la typologie développée pour le référentiel. Les sites en milieux ouverts dans le référentiel comportent probablement un grand nombre de sites agricoles très ouverts où l'activité de ces espèces est souvent faible. Sur les sites 1, 2 et 3, l'activité d'espèces de type *open-space foragers* (noctules) ou *edge-space foragers* (sérotines, pipistrelles) est probablement plus élevée qu'au-dessus des grandes plaines agricoles vu l'environnement très boisé, ce qui conduit à une activité jugée élevée ou très élevée dans le référentiel relatif aux habitats "ouverts".

Le tableau suivant illustre pour trois sites la comparaison entre l'usage de la moyenne sur toutes les nuits ("toutes") et la moyenne en excluant les nuits sans contact ("Act. >0"). Pour rappel, le référentiel ne comprend aucune nuit sans contact. C'est donc *a priori* cette seconde approche qui est la plus pertinente si on veut comparer des valeurs comparables.

Site	7		10		11	
Habitat selon le référentiel	Lisière		Ouvert		Forêt	
Caractérisation EIE	Moyenne avec activité forte pour le grand murin		Très forte		Très forte	
Caractérisation référentiel						
Nuits sélectionnées pour calculer la moyenne	Toutes	Act. > 0	Toutes	Act. > 0	Toutes	Act. > 0
Pipistrelle commune p1	faible	faible	faible	faible	moyenne	moyenne
Pipistrelle commune p2	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
Grand murin p1	faible	moyenne	moyenne	élevée	faible	faible
Grand murin p2	élevée	très élevée	moyenne	moyenne	faible	moyenne
Murins p1	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
Murin p2	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
Sérotules p1	faible	faible	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne
Sérotules p2	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	faible	faible
Sérotine commune p1	faible	moyenne	élevée	élevée	moyenne	élevée
Sérotine commune p2	moyenne	moyenne	moyenne	élevée	/	/
Noctule de Leisler p1	moyenne	moyenne	moyenne	moyenne	/	/
Noctule de Leisler p2	moyenne	moyenne	faible	moyenne	/	/

Tableau 14 : Comparaison entre les niveaux d'activités fournis par le référentiel en utilisant l'activité moyenne par période, y compris les nuits d'activité nulle ("Toutes"), et en retirant les nuits d'activité nulle ("Act. > 0"). p1 = 01/04-31/07, p2 = 01/08-31/10.

Lorsque les nuits sans contact de l'espèce sont retirées, l'activité du grand murin et de la sérotine commune passe, en général, à une classe d'activité plus élevée. Typiquement, ces deux espèces sont soit détectées irrégulièrement (grand murin) soit mal détectées ou plus difficilement identifiées (sérotine commune). Le nombre de nuits sans contact est donc souvent assez élevé sur un site donné, ce qui implique une différence importante dans les valeurs des deux moyennes.

Enfin, des comparaisons entre l'utilisation de la moyenne et de la médiane ont été réalisées sur un échantillon de sites. Elles ont montré que l'utilisation de la médiane lisse davantage les caractérisations (activité souvent caractérisée comme "moyenne"). Ce résultat était attendu, car par définition, la valeur médiane d'une distribution est peu sensible aux valeurs extrêmes, alors que la moyenne peut-être par exemple tirée vers le haut par quelques valeurs très élevées, et dans cet exemple fournir alors une activité "élevée" ou "très élevée" et non "moyenne". Si l'utilisateur souhaite que l'existence de quelques nuits de forte activité soit prise en compte, il semble préférable d'utiliser la moyenne plutôt que la médiane. Dans tous les cas, nous rappelons que la littérature suggère, idéalement, d'évaluer l'activité sur chaque nuit individuelle plutôt que sur un ensemble de nuits via un seul paramètre synthétique comme la moyenne ou la médiane.

En conclusion, les tests réalisés suggèrent que le référentiel développé permet effectivement de différencier des sites éoliens sur base du niveau d'activité moyen des espèces de chauves-souris enregistrées. Le résultat fourni semble parfois fidèle à l'avis d'expert, mais pas dans tous les cas. Concernant le calcul de la moyenne, pour les espèces (pipistrelle commune) ou groupes (sérotules ou murins) les plus abondants dont au moins 1 contact est enregistré sur la nuit, la différence de résultat semble minime entre l'utilisation de moyennes

sur toutes les nuits d'enregistrement et l'exclusion des nuits sans contact. Pour les espèces peu détectées ou difficilement identifiables à l'espèce (séroline commune, grand murin), exclure les nuits sans contact semble plus approprié.

5.5. Recommandations pour une utilisation adéquate

La section précédente a montré, par une analyse simple basée sur des valeurs moyennes d'activité sur plusieurs nuits, que le référentiel a un véritable potentiel d'aide à la décision concernant les enjeux chauves-souris liés aux projets éoliens. Au-delà de la méthode utilisée pour ce test, nous rappelons ici nos recommandations pour utiliser au mieux l'outil dans le cadre de futures EIE. Deux cas de figure sont possibles.

5.5.1. Si l'utilisateur du référentiel dispose des données d'activité nuit par nuit

Dans l'idéal, nous rappelons qu'il est recommandé de caractériser l'activité sur chaque nuit individuelle, et pas uniquement via une moyenne ou une médiane. Les résultats obtenus peuvent être présentés dans un tableau ou sur un graphique, qui montrent le nombre de nuits associées à chaque classe d'activité pour une espèce ou un groupe donné (figure 18).

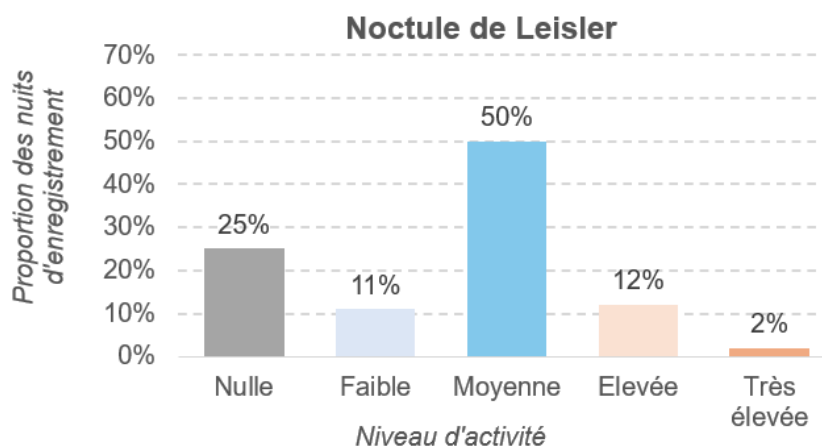


Figure 18 : exemple fictif de présentation des résultats d'une analyse de l'activité des chauves-souris sur un site d'étude à l'aide du référentiel.

Nous rappelons également les conditions à remplir pour pouvoir utiliser ce référentiel de manière valable :

1. Travailler avec des nuits complètes d'enregistrements (au moins 6 h) ;
2. Être attentif au détecteur utilisé. Si celui-ci n'est pas un détecteur de la gamme Wildlife Acoustics, un coefficient de pondération pourrait être appliqué pour tenir compte des différences de performances de détection entre détecteurs, mais cette approche n'a pas été étudiée ici et nécessiterait des investigations complémentaires ;
3. S'il y a un doute sur la manière avec laquelle les espèces réputées difficiles (sérolines, noctules, murins) ont été déterminées dans le jeu de données, nous recommandons de caractériser l'activité sur les groupes d'espèces (groupe "sérolines/noctules" et groupe "murins") et pas les espèces individuelles.

5.5.2 Si l'utilisateur ne dispose que de données résumées sur une période de plusieurs nuits

Dans ce type de cas, nous recommandons de calculer l'activité moyenne par espèce ou par groupe d'espèces, en excluant tant que possible du calcul les nuits sans contact.

5.5.3 Utilisation dans d'autres contextes que les EIE de projets éoliens

L'utilisation du référentiel peut également s'étendre à d'autres études que les EIE de projets éoliens : EIE d'autres projets (immobiliers, industriels, carriers, etc.), évaluations appropriées des incidences sur les sites Natura 2000, demandes de dérogation à la Loi pour la conservation de la nature, suivis de mesures favorables aux chauves-souris, etc.



Partie 6 : Bibliographie

6. Bibliographie

- Adams, A. M., Jantzen, M. K., Hamilton, R. M., & Fenton, M. B. (2012). Do you hear what I hear? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(6), 992-998. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2012.00244.x>
- Amirault, G., Haquart, A., & Goertz, S. (2022). — Définition d'un référentiel d'activité acoustique des Chiroptères à l'échelle de l'île de la Réunion. *Naturae* 2022 (14): 247-260. <https://doi.org/10.5852/naturae2022a14>
- 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>
- Barataud, M. (avec Tupinier, Y., Muséum national d'histoire naturelle (Paris), & Biotope). (2020). *Écologie acoustique des chiroptères d'Europe : Identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse*. (4e édition). Muséum national d'histoire naturelle ; Mèze.
- Barbosa, E. (2021). *Élaboration d'un référentiel d'activité acoustique des chiroptères & Restructuration de la base de données*. Rapport de stage de master 2, université Toulouse II et Groupe mammologique breton.
- Barluet de Beauchesne, L., Lefebvre, E., & Roche, H.-P. (2025). Analyse comparative de cinq enregistreurs passifs d'ultrasons dans le cadre de la détection de chiroptères. (p. 45) [Rapport technique]. https://www.biodiv-wind.com/wp-content/uploads/2025/03/Rapport-technique_Analyse-comparative-de-cinq-enregistreurs-passifs-dultrasons.pdf
- Barré, K., Froidevaux, J. S., Sotillo, A., Roemer, C., & Kerbiriou, C. (2023). Drivers of bat activity at wind turbines advocate for mitigating bat exposure using multicriteria algorithm-based curtailment. *Science of The Total Environment* 866, [Drivers of bat activity at wind turbines advocate for mitigating bat exposure using multicriteria algorithm-based curtailment - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164888)
- 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), Article 2. <https://doi.org/10.26496/bjz.2018.21>
- Brigham, R. M., Kalko, E., Jones, G., Parsons, S., & Limpens, H. (2004). *Bat Echolocation Research. Tools, Techniques, and Analysis* (Bat Conservation International).
- Casier, L., Nyssen, P., Godeau J.-F. & Beckers, A., (2023) *Activité et mortalité des chauves-souris sur des parcs éoliens forestiers en Wallonie : Analyse de risques par rapport à la diminution de la distance entre le mât et les lisières, d'une part, et la distance entre le bas de pales et la végétation (herbacée ou ligneuse), d'autre part*, Rapport final, CSD Ingénieurs et Ecofirst
- De Neyer, L., Cappellen, V., Cristofoli, S., Dumont, A., Paës, C., & Dufrêne, M. (2024, décembre). NoNetLoss : Evaluation de l'efficacité des mesures compensatoires. 1ère évaluation : Mesure COA1/COA2 au printemps.

- Disca, T. (2023). Analyse comparée de quatre enregistreurs passifs d'ultrasons. Quelles conséquences pour l'analyse et l'interprétation des données d'activité de chiroptères ? Documents techniques de la Fondation Biotope. n°2 - novembre 2023.
- Fenton, M. B. (2000). Choosing the correct bat detector. *Acta Chiropterologica*, 02(2). <http://agro.icm.edu.pl/agro/element/bwmeta1.element.agro-ecbdca11-3f81-4463-b9ec-c7c9b842fe00>
- Frafjord, K. (2021). The influence of night length: Activity of the northern bat *Eptesicus nilssonii* under conditions of continuous light in midnight sun compared to a southern population. *BMC Zoology*, 6(1), 34. <https://doi.org/10.1186/s40850-021-00099-1>
- Fraser, E., Silvis, A., Brigham, R. M., & Czenze, Z. (2020). Bat Echolocation Research A handbook for planning and conducting acoustic studies (Second Editions).
- Fritsch, G., & Bruckner, A. (2014). Operator bias in software-aided bat call identification. *Ecology and Evolution*, 4(13), 2703-2713. <https://doi.org/10.1002/ece3.1122>
- Gessner Landschaftsökologie (2015). Fachbeitrag Fledermäuse zum geplanten Windpark Harel – Walter – Eeschpelt (Kanton Wiltz, Luxemburg) für die Anlagenstandorte». Etude d'impact pour un projet de parc éolien.
- Goodwin, K. R., Kirschbaum, A., & Gillam, E. H. (2024). Comparing field performance of ultrasonic microphones to facilitate analysis of long-term acoustic bat monitoring data. *Wildlife Society Bulletin*, 48(4), e1547. <https://doi.org/10.1002/wsb.1547>
- Haquart, A. (2013). Actichiro—Référentiel d'activité des chiroptères—Elements pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française [Mémoire de fin d'études]. Ecole Pratique des Hautes Etudes - Sciences de la Vie et de la Terre.
- Heim, O., Lenski, J., Schulze, J., Jung, K., Kramer-Schadt, S., Eccard, J. A., & Voigt, C. C. (2018). The relevance of vegetation structures and small water bodies for bats foraging above farmland. *Basic and Applied Ecology*, 27, 9-19.
- Hourigan, C. L., Catterall, C. P., Jones, D., & Rhodes, M. (2008). A comparison of the effectiveness of bat detectors and harp traps for surveying bats in an urban landscape. *Wildlife Research*, 35(8), 768-774. <https://doi.org/10.1071/WR07154>
- Jennings, N., Parsons, S., & Pocock, M. J. O. (2008). Human vs. machine: Identification of bat species from their echolocation calls by humans and by artificial neural networks. *Canadian Journal of Zoology*, 86(5), 371-377. <https://doi.org/10.1139/Z08-009>
- Kaiser, Z. D. E., & O'Keefe, J. M. (2015). Data acquisition varies by bat phonic group for 2 types of bat detectors when weatherproofed and paired in field settings. *Wildlife Society Bulletin*, 39(3), 635-644. <https://doi.org/10.1002/wsb.572>
- Kelm, D. H., Lenski, J., Kelm, V., Toelch, U., & Dziock, F. (2014). Seasonal bat activity in relation to distance to hedgerows in an agricultural landscape in central Europe and implications for wind energy development. *Acta Chiropterologica*, 16(1), 65-73.
- Labouré (2022). Analyse de l'activité chiroptérologique afin de créer des échelles adaptées aux études d'impact sur l'environnement. Rapport technique du bureau d'étude Encis. [ARTICLE_RetD_27_20220315.pdf](#)

- Lemen, C., Freeman, P. W., White, J. A., & Andersen, B. R. (2015). The Problem of Low Agreement among Automated Identification Programs for Acoustical Surveys of Bats. *Western North American Naturalist*, 75(2), 218-225. <https://doi.org/10.3398/064.075.0210>
- Leroux, C., Kerbiriou, C., Le Viol, I., Valet, N., & Barré, K. (2022). Distance to hedgerows drives local repulsion and attraction of wind turbines on bats: Implications for spatial siting. *Journal of Applied Ecology*, 59(8), 2142-2153.
- Lintott, P. R., Davison, S., van Breda, J., Kubasiewicz, L., Dowse, D., Daisley, J., ... & Mathews, F. (2018). Ecobat: An online resource to facilitate transparent, evidence-based interpretation of bat activity data. *Ecology and evolution*, 8(2), 935-941.
- Lintott, P. R., & Mathews, F. (2018). Basic mathematical errors may make ecological assessments unreliable. *Biodiversity and conservation*, 27(1), 265-267.
- Loeb, S. C., Hines, B. A., Armstrong, M. P., & Zarnoch, S. J. (2020). Effects of Omnidirectional Microphone Placement and Survey Period on Bat Echolocation Call Quality and Detection Probabilities. *Acta Chiropterologica*, 21(2), 453-464. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2019.21.2.019>
- MacSwiney G., M. C., Clarke, F. M., & Racey, P. A. (2008). What you see is not what you get: The role of ultrasonic detectors in increasing inventory completeness in Neotropical bat assemblages. *Journal of Applied Ecology*, 45(5), 1364-1371. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01531.x>
- Miller, B. W. (2001). A method for determining relative activity of free flying bats using a new activity index for acoustic monitoring. *Acta chiropterologica*, 3(1), 93-105.
- NaturScot et al. (2021). Bats and onshore wind turbines: survey, assessment and mitigation. [Bats and onshore wind turbines: Interim guidance, Jan 2009](#)
- O'Farrell, M. J., & Gannon, W. L. (1999). A Comparison of Acoustic Versus Capture Techniques for the Inventory of Bats. *Journal of Mammalogy*, 80(1), 24-30. <https://doi.org/10.2307/1383204>
- Osborne, P. E., Alvares-Sanches, T., & White, P. R. (2023). To Bag or Not to Bag? How AudioMoth-Based Passive Acoustic Monitoring Is Impacted by Protective Coverings. *Sensors*, 23(16), Article 16. <https://doi.org/10.3390/s23167287>
- Russ, J. (2021). *Bat Calls of Britain and Europe. A guide to Species Identification* (Pelagic Publishing).
- 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.ecolind.2017.03.023>
- Rydell, J., Nyman, S., Eklöf, J., Jones, G., & Russo, D. (2018). Corrigendum to "Testing the performances of automated identification of bat echolocation calls: A request for prudence" [Ecol. Indic. 78 (2017) 416-420]. *Ecological Indicators*, 84, 273. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.08.070>
- Skalak, S. L., Sherwin, R. E., & Brigham, R. M. (2012). Sampling period, size and duration influence measures of bat species richness from acoustic surveys. *Methods in Ecology and Evolution*, 3(3), 490-502. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00177.x>

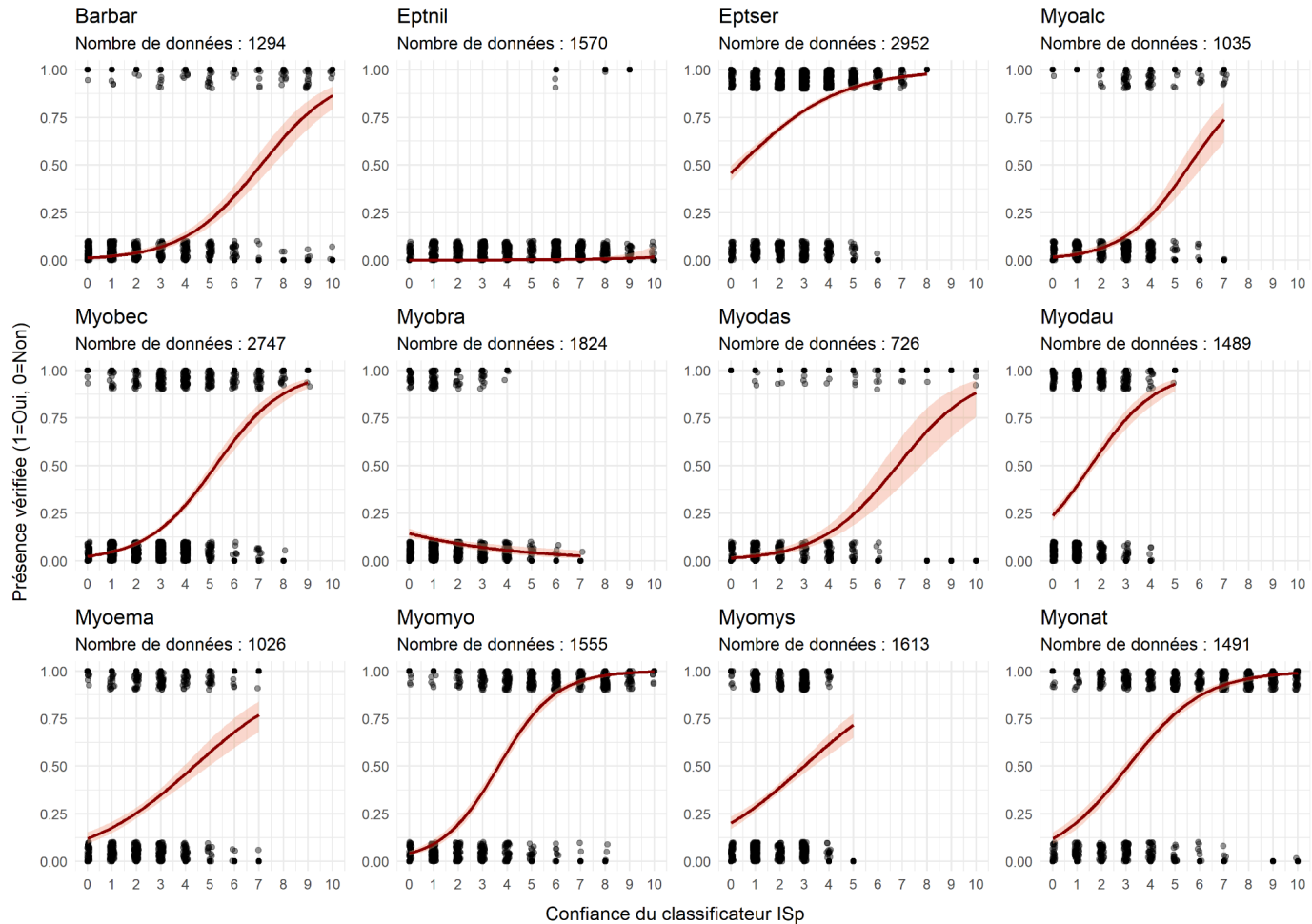
- Smith, D. H. V., Borkin, K. M., & Shaw, W. B. (2020). A comparison of two bat detectors : Which is most likely to detect New Zealand's *Chalinolobus tuberculatus*? *New Zealand Journal of Zoology*, 47(3), 233-240. <https://doi.org/10.1080/03014223.2020.1754864>
- Sprong, L., & Seamark, E. (2012). Assessing the effect of waterproofing on three different bat detectors. https://www.academia.edu/23786055/Assessing_the_effect_of_waterproofing_on_three_different_bat_detectors
- Weller, T. J., & Zabel, C. J. (2002). Variation in Bat Detections due to Detector Orientation in a Forest. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 30(3), 922-930.

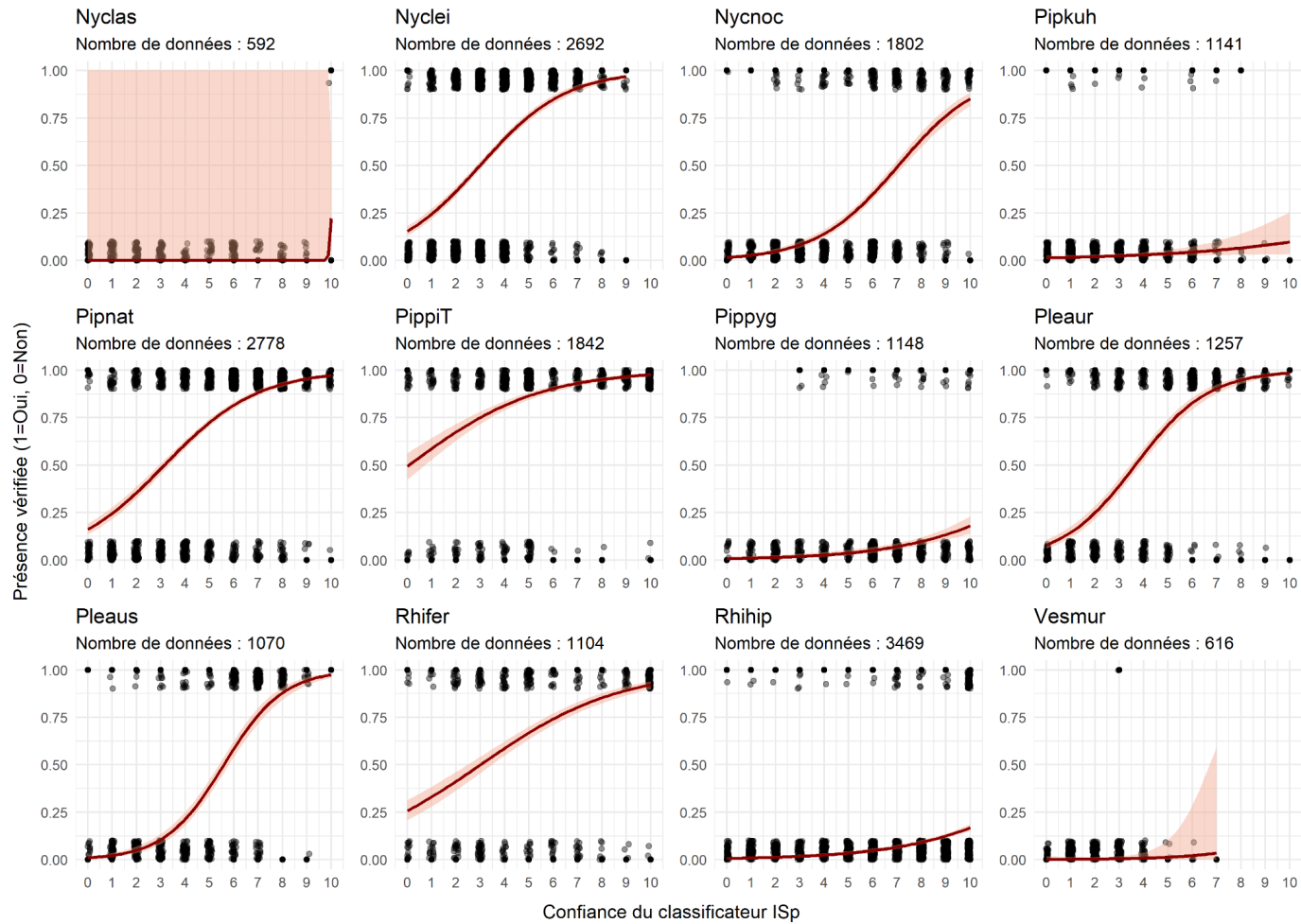


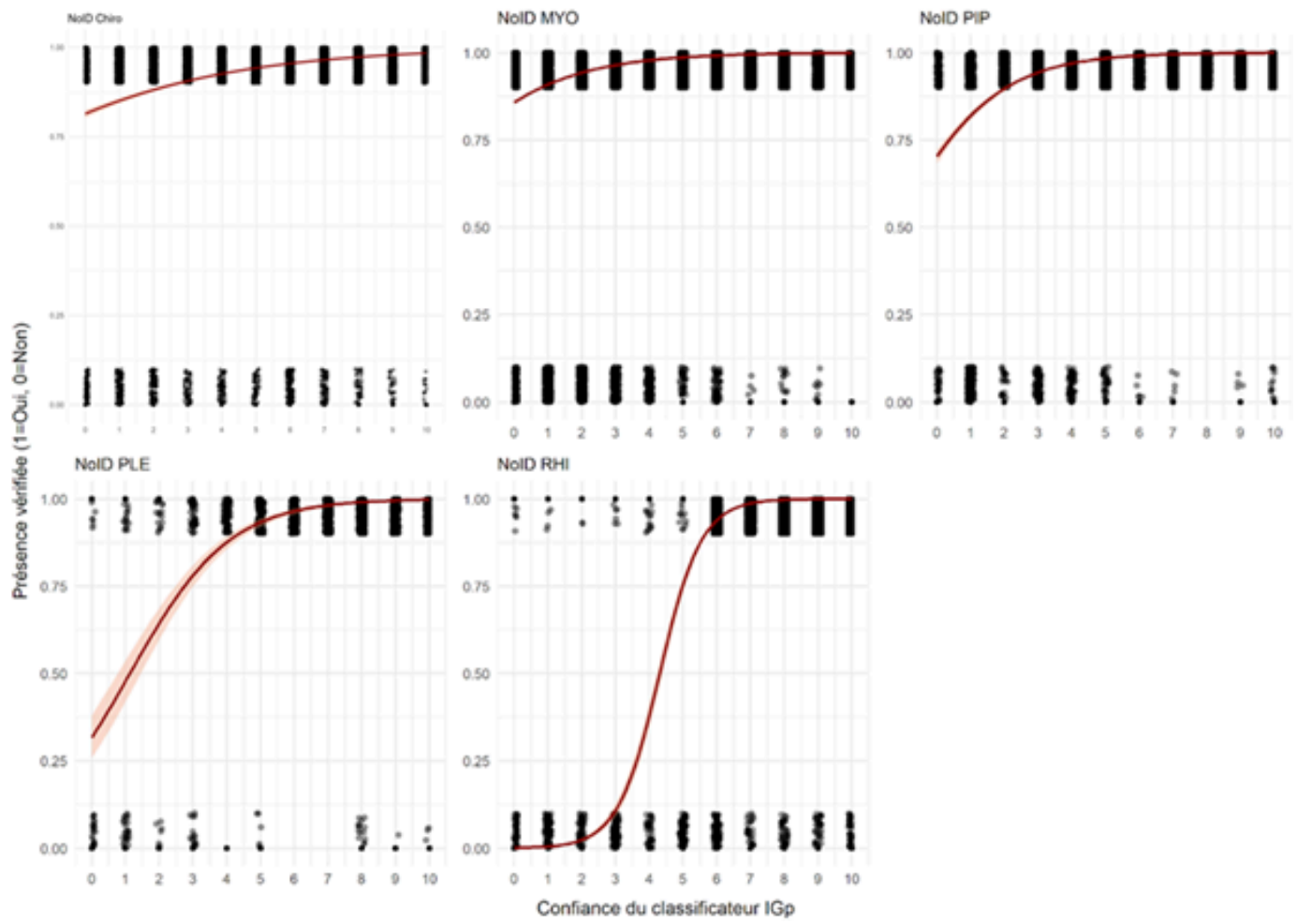
Partie 7 : Annexes

7. Annexes

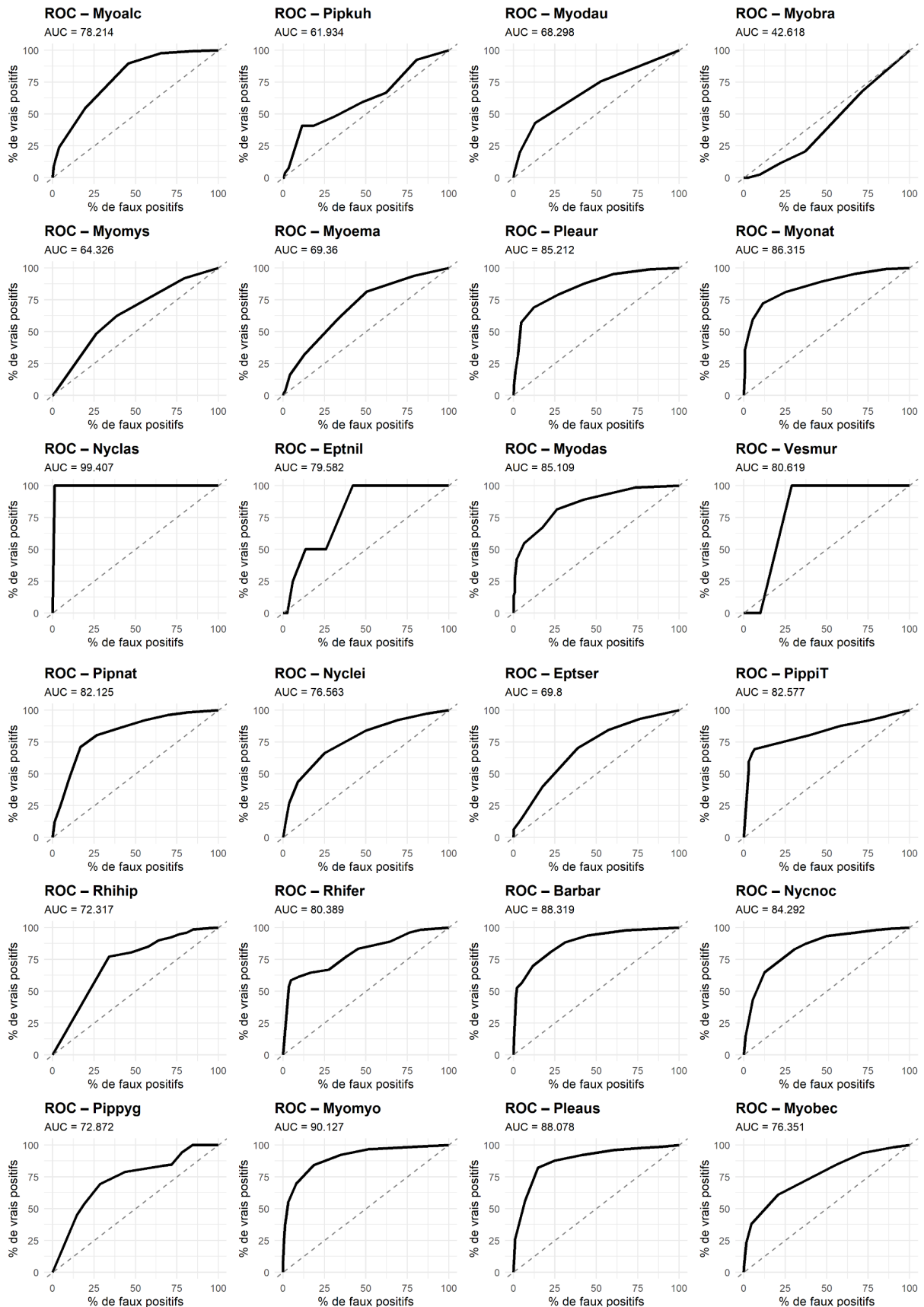
Annexe 1. Graphes illustrant la régression logistique pour toutes les espèces / groupes d'espèces

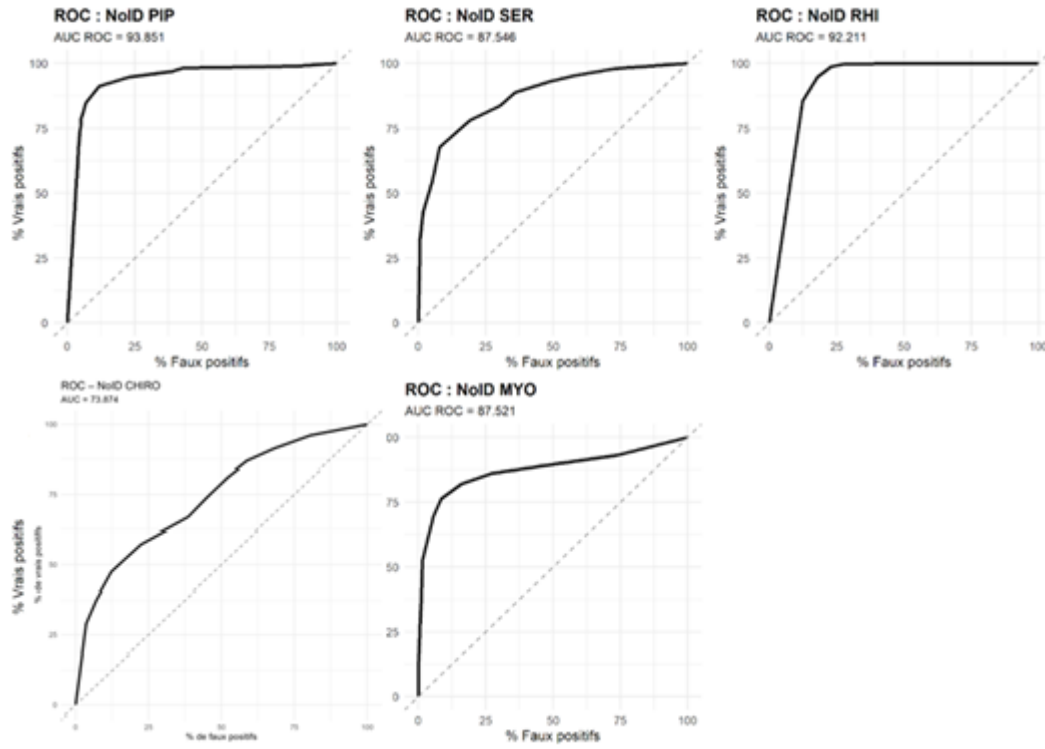




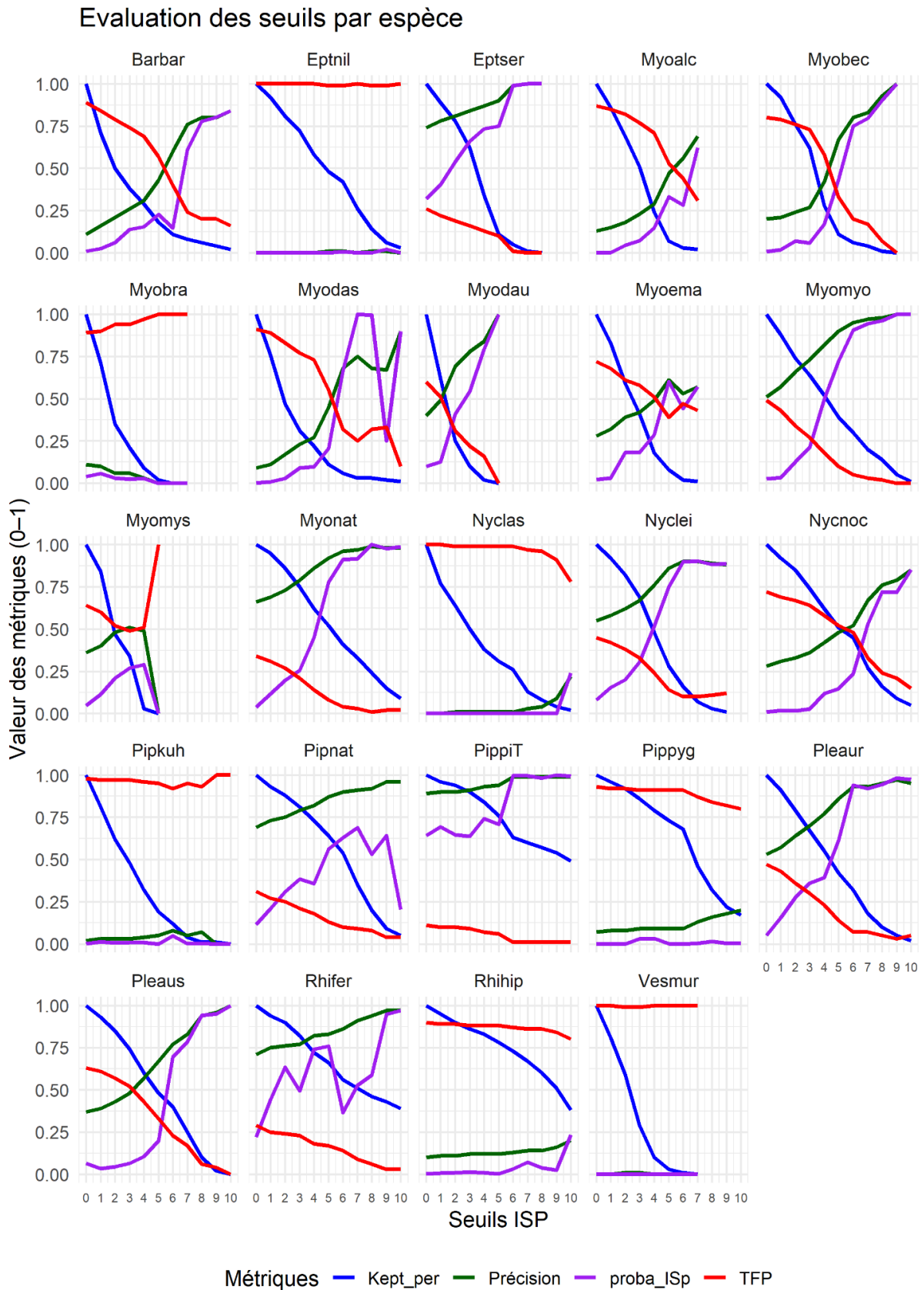


Annexe 2. Graphes illustrant la courbe ROC pour toutes les espèces/groupes d'espèces

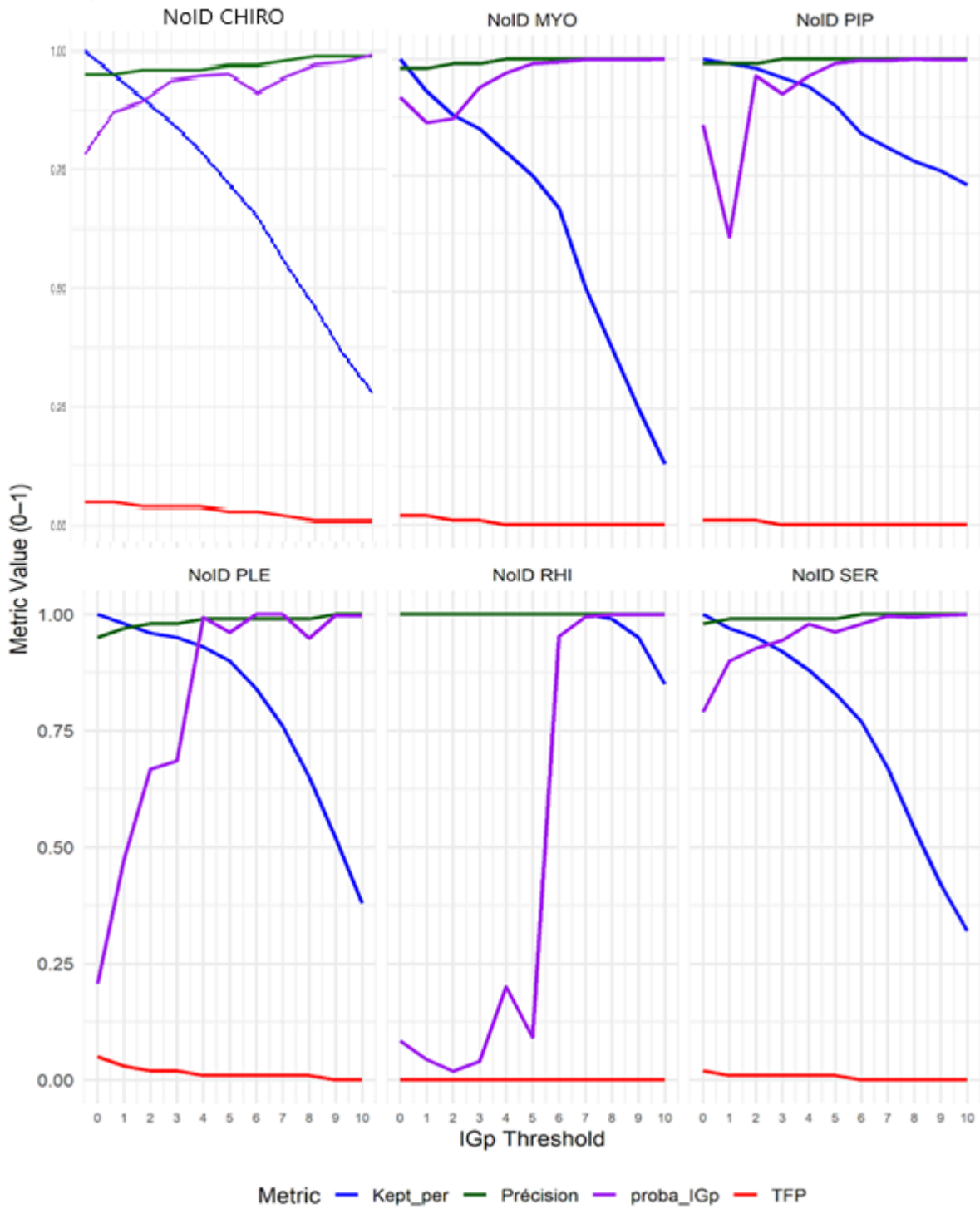




Annexe 3. Graphes illustrant, pour toutes les espèces/groupes d'espèces, l'évolution de 4 indicateurs en fonction du seuil ISp



Threshold Evaluation per Species





Annexe 4. Tableau récapitulatif du nombre de nuits que compte la base de données wallonne pour chacun des catégories (combinaison période, habitat et espèce/groupe d'espèce)

Taxon	Période	Habitat	Nombre de nuits
Barbastelle d'Europe	gestation - allaitement	Foret	24
Barbastelle d'Europe	gestation - allaitement	Lisière	9
Barbastelle d'Europe	gestation - allaitement	Ouvert	2
Barbastelle d'Europe	Swarming	Foret	9
Barbastelle d'Europe	Swarming	Lisière	6
Barbastelle d'Europe	Swarming	Ouvert	3
Grand murin	gestation - allaitement	Foret	193
Grand murin	gestation - allaitement	Lisière	150
Grand murin	gestation - allaitement	Ouvert	108
Grand murin	Swarming	Foret	127
Grand murin	Swarming	Lisière	75
Grand murin	Swarming	Ouvert	94
Grand rhinolophe	gestation - allaitement	Foret	95
Grand rhinolophe	gestation - allaitement	Lisière	111
Grand rhinolophe	gestation - allaitement	Ouvert	38
Grand rhinolophe	Swarming	Foret	43
Grand rhinolophe	Swarming	Lisière	73
Grand rhinolophe	Swarming	Ouvert	20
Grande noctule	gestation - allaitement	Lisière	1
Murin d'Alcathoé	gestation - allaitement	Foret	27
Murin d'Alcathoé	gestation - allaitement	Lisière	10
Murin d'Alcathoé	gestation - allaitement	Ouvert	7
Murin d'Alcathoé	Swarming	Foret	25
Murin d'Alcathoé	Swarming	Lisière	15
Murin d'Alcathoé	Swarming	Ouvert	6
Murin de Bechstein	gestation - allaitement	Foret	126
Murin de Bechstein	gestation - allaitement	Lisière	56
Murin de Bechstein	gestation - allaitement	Ouvert	30
Murin de Bechstein	Swarming	Foret	49
Murin de Bechstein	Swarming	Lisière	38
Murin de Bechstein	Swarming	Ouvert	39
Murin de Brandt	gestation - allaitement	Foret	46
Murin de Brandt	gestation - allaitement	Lisière	21
Murin de Brandt	gestation - allaitement	Ouvert	14
Murin de Brandt	Swarming	Foret	35
Murin de Brandt	Swarming	Lisière	30
Murin de Brandt	Swarming	Ouvert	30
Murin de Daubenton	gestation - allaitement	Foret	70

Murin de Daubenton	gestation - allaitement	Lisière	131
Murin de Daubenton	gestation - allaitement	Ouvert	57
Murin de Daubenton	Swarming	Foret	60
Murin de Daubenton	Swarming	Lisière	130
Murin de Daubenton	Swarming	Ouvert	69
Murin de Natterer	gestation - allaitement	Foret	259
Murin de Natterer	gestation - allaitement	Lisière	239
Murin de Natterer	gestation - allaitement	Ouvert	161
Murin de Natterer	Swarming	Foret	252
Murin de Natterer	Swarming	Lisière	209
Murin de Natterer	Swarming	Ouvert	218
Murin des marais	gestation - allaitement	Foret	2
Murin des marais	gestation - allaitement	Lisière	4
Murin des marais	gestation - allaitement	Ouvert	9
Murin des marais	Swarming	Foret	1
Murin des marais	Swarming	Lisière	13
Murin des marais	Swarming	Ouvert	9
Murin sp.	gestation - allaitement	Foret	1251
Murin sp.	gestation - allaitement	Lisière	1056
Murin sp.	gestation - allaitement	Ouvert	900
Murin sp.	Swarming	Foret	833
Murin sp.	Swarming	Lisière	825
Murin sp.	Swarming	Ouvert	852
Murin à moustaches	gestation - allaitement	Foret	104
Murin à moustaches	gestation - allaitement	Lisière	86
Murin à moustaches	gestation - allaitement	Ouvert	40
Murin à moustaches	Swarming	Foret	92
Murin à moustaches	Swarming	Lisière	103
Murin à moustaches	Swarming	Ouvert	58
Murin à oreilles échancrées	gestation - allaitement	Foret	60
Murin à oreilles échancrées	gestation - allaitement	Lisière	52
Murin à oreilles échancrées	gestation - allaitement	Ouvert	22
Murin à oreilles échancrées	Swarming	Foret	41
Murin à oreilles échancrées	Swarming	Lisière	46
Murin à oreilles échancrées	Swarming	Ouvert	11
Noctule commune	gestation - allaitement	Foret	51
Noctule commune	gestation - allaitement	Lisière	78
Noctule commune	gestation - allaitement	Ouvert	48
Noctule commune	Swarming	Foret	29
Noctule commune	Swarming	Lisière	90
Noctule commune	Swarming	Ouvert	47
Noctule de Leisler	gestation - allaitement	Foret	304
Noctule de Leisler	gestation - allaitement	Lisière	383

Noctule de Leisler	gestation - allaitement	Ouvert	259
Noctule de Leisler	Swarming	Foret	148
Noctule de Leisler	Swarming	Lisière	204
Noctule de Leisler	Swarming	Ouvert	193
NoID Chiro		Foret	1344
NoID Chiro		Lisière	1509
NoID Chiro		Ouvert	1315
Oreillard gris	gestation - allaitement	Foret	70
Oreillard gris	gestation - allaitement	Lisière	97
Oreillard gris	gestation - allaitement	Ouvert	82
Oreillard gris	Swarming	Foret	22
Oreillard gris	Swarming	Lisière	62
Oreillard gris	Swarming	Ouvert	90
Oreillard roux	gestation - allaitement	Foret	167
Oreillard roux	gestation - allaitement	Lisière	120
Oreillard roux	gestation - allaitement	Ouvert	114
Oreillard roux	Swarming	Foret	119
Oreillard roux	Swarming	Lisière	145
Oreillard roux	Swarming	Ouvert	171
Petit rhinolophe	gestation - allaitement	Foret	25
Petit rhinolophe	gestation - allaitement	Lisière	38
Petit rhinolophe	gestation - allaitement	Ouvert	15
Petit rhinolophe	Swarming	Foret	11
Petit rhinolophe	Swarming	Lisière	39
Petit rhinolophe	Swarming	Ouvert	11
Pipistrelle commune	gestation - allaitement	Foret	1286
Pipistrelle commune	gestation - allaitement	Lisière	1137
Pipistrelle commune	gestation - allaitement	Ouvert	1010
Pipistrelle commune	Swarming	Foret	843
Pipistrelle commune	Swarming	Lisière	853
Pipistrelle commune	Swarming	Ouvert	917
Pipistrelle de Kuhl	Swarming	Lisière	26
Pipistrelle de Kuhl	Swarming	Ouvert	2
Pipistrelle de Nathusius	gestation - allaitement	Foret	511
Pipistrelle de Nathusius	gestation - allaitement	Lisière	612
Pipistrelle de Nathusius	gestation - allaitement	Ouvert	559
Pipistrelle de Nathusius	Swarming	Foret	221
Pipistrelle de Nathusius	Swarming	Lisière	389
Pipistrelle de Nathusius	Swarming	Ouvert	490
Pipistrelle pygmée	gestation - allaitement	Foret	7
Pipistrelle pygmée	gestation - allaitement	Lisière	5
Pipistrelle pygmée	gestation - allaitement	Ouvert	5
Pipistrelle pygmée	Swarming	Foret	10

Pipistrelle pygmée	Swarming	Lisière	22
Pipistrelle pygmée	Swarming	Ouvert	10
Pipistrelle sp.	gestation - allaitement	Foret	1397
Pipistrelle sp.	gestation - allaitement	Lisière	1188
Pipistrelle sp.	gestation - allaitement	Ouvert	1126
Pipistrelle sp.	Swarming	Foret	884
Pipistrelle sp.	Swarming	Lisière	905
Pipistrelle sp.	Swarming	Ouvert	1004
Plecotus sp.	gestation - allaitement	Foret	606
Plecotus sp.	gestation - allaitement	Lisière	619
Plecotus sp.	gestation - allaitement	Ouvert	556
Plecotus sp.	Swarming	Foret	420
Plecotus sp.	Swarming	Lisière	516
Plecotus sp.	Swarming	Ouvert	534
Rhinolophe sp.	gestation - allaitement	Foret	354
Rhinolophe sp.	gestation - allaitement	Lisière	359
Rhinolophe sp.	gestation - allaitement	Ouvert	193
Rhinolophe sp.	gestation - allaitement		2
Rhinolophe sp.	Swarming	Foret	176
Rhinolophe sp.	Swarming	Lisière	280
Rhinolophe sp.	Swarming	Ouvert	115
Serotine/Noctule sp.	gestation - allaitement	Foret	1133
Serotine/Noctule sp.	gestation - allaitement	Lisière	1071
Serotine/Noctule sp.	gestation - allaitement	Ouvert	999
Serotine/Noctule sp.	Swarming	Foret	691
Serotine/Noctule sp.	Swarming	Lisière	765
Serotine/Noctule sp.	Swarming	Ouvert	739
vespertilion bicolor	gestation - allaitement	Lisière	1
Sérotine commune	gestation - allaitement	Foret	430
Sérotine commune	gestation - allaitement	Lisière	515
Sérotine commune	gestation - allaitement	Ouvert	447
Sérotine commune	Swarming	Foret	229
Sérotine commune	Swarming	Lisière	260
Sérotine commune	Swarming	Ouvert	231
Sérotine de Nilsson	gestation - allaitement	Lisière	1
Sérotine de Nilsson	Swarming	Ouvert	1