Pourquoi la Barbastelle (*Barbastella barbastellus*) se plaît-elle en Bretagne ? …et autres questions étudiées grâce au référencement des enregistrements acoustiques passifs.

Thomas DUBOS

Groupe Mammalogique Breton
Maison de la rivière, 29450 Sizun
thomas.dubos@gmb.bzh

Résumé. - Pourquoi donc, la Barbastelle se plaît-elle en Bretagne ? Eh bien, non pas parce qu'il ne pleut que sur les minioptères, mais plus probablement parce qu'il y fait beau plusieurs fois par nuit !
La standardisation et l'archivage des enregistrements passifs d'ultrasons de chauves-souris, engagés depuis 2013 par le GMB, permettent de disposer d'une collection de plusieurs millions de séquences attribuées à des espèces ou groupes d'espèces (selon les types acoustiques), correspondant à près de 2000 nuits entières échantillonnées. Les circonstances stationnelles, météorologiques ou saisonnières de ces enregistrements sont suffisamment variées et représentatives des conditions bretonnes pour que des analyses des déterminants de l'activité et des référentiels d'activité acoustique puissent être réalisés avec une certaine robustesse. Par exemple, nos travaux montrent que si la Barbastelle se plait effectivement en Bretagne, c'est parce que son activité n'est que très peu affectée par des conditions météorologiques médiocres mais, à l'inverse, largement favorisée par des habitats et paysages mixtes, comme le bocage breton, qui offrent une multitude de bois, haies, allées, lisières et autres ripisylves. Par ailleurs, des référentiels d'activité ont pu être construits pour la Pipistrelle commune, la Barbastelle ainsi que pour l'ensemble du cortège des chauves-souris divisé en groupes selon des types acoustiques. Ils permettent de mesurer, dans l'absolu et de manière relativement fiable, la qualité chiroptérologique d'un site et la capacité d'accueil du milieu en Bretagne, et devront désormais servir une meilleure prise en compte des chauves-souris par les gestionnaires d'espaces naturels, les services instructeurs ou les bureaux d'étude.

Mots-clés. - Chauves-souris, chiroptères, Barbastelle d'Europe, Pipistrelle commune, enregistrements passifs, activité acoustique, référentiel d'activité.

Abstract. - How is it that the Barbastelle bat is so at home in Brittany? Well, it's not that it rains only on the Schreiber's bat but it could be because the weather is fine several times a night! The standardization and archiving of passive ultrasound recordings of bats, initiated in 2013 by the GMB, provides a collection of millions of sequences attributed to species or groups of species (according to acoustic types), corresponding to nearly 2000 whole nights sampled. The stationary, meteorological or seasonal circumstances are sufficiently varied and representative of Breton conditions, so that analyses of the determinants of the activity or acoustic benchmarks can be provided with a certain robustness. For example, our work shows that if Barbastelle does indeed enjoy itself in Brittany, it is because its activity is only slightly affected by poor weather conditions but, on the contrary, largely favoured by mixed habitats and landscapes, such as the Breton bocage, offering a multitude of woods, hedges, paths, edges and other riparian woodlands. In addition, activity benchmarks could be built for the common Pipistrelle, the Barbastelle bat or for the whole panoply of acoustic bat groups. They allow the measurement, in an absolute and relatively reliable way, of the chiropterological quality of a site and the suitability of the environment, and should in future be used in Brittany by managers of natural areas, the government's monitoring services or consultancy firms, to take bats better into account.

Keywords. - Bats, Western Barbastelle, Common Pipistrelle, passive recordings, acoustic activity, activity benchmark.

Introduction

Comme bon nombre de structures chiroptérologiques au début des années 2010, le Groupe Mammalogique Breton (GMB) s'est lancé dans la détection passive des chiroptères avec l'acquisition de plusieurs enregistreurs SM2 BAT+ (Wildlife Acoustics, USA). Rapidement, frustrés de n'archiver dans notre base de données que la seule mention d'espèces contactées alors que des nuits entières d'activité et des dizaines de milliers de séquences étaient collectées, nous avons décidé de standardiser nos relevés d'enregistrement passifs et d'archiver l'ensemble des informations au sein d'une base de données dédiée.

Les informations accumulées sont désormais suffisantes pour que des analyses robustes puissent en être tirées et que des résultats sur l'activité acoustique régionale des chauves-souris en soient déduits.

Le travail présenté ici illustre par quelques exemples les résultats que nous pouvons obtenir des analyses des enregistrements passifs ainsi archivés : comment se dis-

tribue spatio-temporellement l'activité nocturne de la Barbastelle d'Europe *Barbastella barbastellus*, et comment établir des référentiels d'activité, que ce soit pour la Barbastelle, pour la Pipistrelle commune *Pipistrellus pipistrellus* ou pour l'ensemble du cortège chiroptérologique.

Matériel et méthodes

1. – Enregistrements

L'enregistrement de l'activité nocturne des chauves-souris est réalisé depuis 2013 à l'aide de détecteurs SM2 BAT+, équipés de micro SMX-US déportés du boitier par un câble de 5 à 25 m de long. Les enregistreurs sont équipés de 1 à 4 cartes SD class 10 de 32 Go, alimentés par batterie externe de 60 ou 90 Ah ou par 4 accumulateurs de type D de 10 000 mAh et configurés grâce au logiciel Song Meter Configuration Utility (© Wildlife Acoustics) avec les réglages suivants :

- échantillonnage audio : 384 kHz en mono ou 192 kHz en stéréo,
- format de fichier : WAC0, boucles de 30 minutes,
- filtre passe haut : 8 ou 12 kHz,
- trig win : 5,0 secondes,
- trigger : 4 ou 6 dB,
- gain de 36 dB ou 48 dB.

Bien qu'envisagé dès la construction de la base de données, nous n'avons jusqu'à maintenant pas eu recours à d'autres matériels et d'autres réglages (définis par des tests en 2013 comme ceux offrant le meilleur compromis entre quantité et qualité des séquences enregistrées) que ceux mentionnés ci-dessus pour les enregistrements.

Les micros SMX-US sont testés avant et durant la saison d'enregistrement afin de vérifier leur sensibilité à l'aide d'un calibreur ultrasonore (© Wildlife Acoustics, USA), et sont renouvelés en cas de nécessité.

Les enregistrements sont conduits durant des nuits entières, de 30 minutes avant le coucher du soleil jusqu'à 30 minutes après son lever, en général pour des déploiements de trois nuits consécutives, quelquefois plus, rarement moins, autant que possible lorsque les conditions météorologiques sont clémentes (température nocturne supérieure à 8 °C, pluie et vent faibles ou nuls). En cas de problèmes techniques ou d'autonomie, ayant empêché l'enregistrement jusqu'au bout de la période prévue, seuls les résultats des nuits complètes sont versés dans la base de données.

Chaque session d'enregistrement sur un ou plusieurs postes, fait l'objet d'un relevé des informations suivantes compilées au sein d'un tableau de relevé (*Figure 1*) :

- programme d'étude ;
- localisation (commune, INSEE, lieu-dit) du site ;
- observateur (pose / relevé des SM2) et validateur des identifications acoustiques ;
- date de début et date de fin (date du début de la nuit) de l'enregistrement ;
- par poste d'enregistrement au sein d'un même site : coordonnées en Lambert II étendu, situation du micro[1] ; habitats principal et secondaire[2] ; contexte paysager[3] ;
- matériel et réglages (enregistreur, échantillonnage, canaux d'enregistrement, type de fichier, gain, trigger, filtre passe haut) et hauteur du micro (0-3 m ; 3-6 m ; 6-12 m ; 12-24 m ; plus de 24 m) ;
- logiciel, version et date du traitement automatique des enregistrements ;
- météo quotidienne (température minimale en °C et pluviométrie cumulée en mm de la nuit – entre 18H00 et 8H00, température maximale en °C et ensoleillement en heures du jour précédent – entre 8H00 et 18H00, direction et force du vent en km/h à 23H00) relevée à priori à la commune (site www.meteo60.fr) pour les déploiements de trois nuits ou moins, ou relevée à posteriori (site www.meteo.bzh) au niveau de la station météorologique la plus proche pour les déploiements plus longs (et dans ce cas indication de la station de référence et de la distance de cette dernière du site d'enregistrement : moins de 5 km ; 5-10 km ; 10-20 km ; 20-40 km ; plus de 40 km).

La collecte des enregistrements nocturnes de l'activité des chauves-souris a été réalisée depuis 2013 au sein du territoire d'action du GMB, à savoir la Bretagne administrative et la Loire-Atlantique. Ces relevés répondent à une méthode standardisée de relevé mais non à un plan d'échantillonnage. C'est-à-dire que l'ensemble des enregistrements passifs standardisés réalisés par le GMB, et occasionnellement par ses partenaires comme Bretagne Vivante [Dubos, 2016], pour différents objets et dans différents cadres (inventaires, suivis, programmes de recherche…) alimente la base de données de manière opportuniste.

1 Alignements d'arbres (allée parc/château) ; Arbuste/petit arbre isolé ; Berge herbacée ; Cavité souterraine/tunnel ; Combles/intérieur bâtiment ; Gros arbre isolé ; Haie favorable (haute, double, large...) ; Haie peu favorable (basse/arbustive/étroite…) ; Lisière ; Point haut (clocher, mat éolienne, phare…) ; Promontoire rocheux, col, haut de falaise ; Ripisylve ; Routes/ponts ; Sous-bois ; Zone ouverte.

2 Boisement feuillus 'pauvres' ; Boisement feuillus 'riche' (âgé avec bois mort) ; Boisement principalement résineux ; Centre urbain ; Cultures ; Dunes ; Falaises/carrières/côte rocheuse ; Fourrés/ronciers ; Jardin ; Lande humide ; Lande sèche ; Mare/lagune/bassins ; Mégaphorbiaie (ZH à végétation haute) ; Mer/estran ; Parc ; Plan d'eau/estuaire/rivière (>10m de large) ; Prairie humide ; Prairie 'sèche' ; Rivière (3 à 10m de large)/canal ; Roselière ; Ruisseau (<3m de large) ; Zone industrielle/commerciale/artisanale ; Zone périurbaine (pavillonnaire, hameaux, petits bourgs).

3 Bocage ; Forêt/complexe boisé ; Littoral ; Marais (grand marais ou complexe de ZH) ; Vallée boisée ; Zone agricole intensive (bocage absent, lâche ou résiduel) ; Zone urbaine.

Fiche de relevé - Suivi Passif de l'Activité des Chiroptères

Numsession :	35IFFVALL20160623	Programme d'Etude :	Assistance ENS35
Observ. :	Thomas Le Campion	Validateur :	Thomas Le Campion
Commune :	Iffendic	INSE : 35133	Lieu-dit : La chambre aux loups
			Numsite* : 103059

* : INDISPENSABLE : saisir le code Numsite correspondant au lieu-dit en utilisant le fichier Access "Utilitaire Numsite"

Postes d'enregistrement *(coordonnées en Lambert II étendu si plusieurs détecteurs déployés sur site et/ou si localisation plus précise que Lieu-dit)*

Désignation	CoordObsX	CoordObsY	Situation	Habitat principal	Habitat secondaire	Contexte
35IFFVALL-1	272748	2352133	Lisière	Lande sèche	Boisement feuillus	Bocage
35IFFVALL-2	272819	2352909	Ripisylve	Plan d'eau/estuaire/rivière (>10m de large)	Boisement feuillus	Bocage
35IFFVALL-3	272873	2352611	Sous-bois	Boisement feuillus 'pauvres'	Ruisseau (<3m de l	Bocage

Période de suivi :	du : 23/06/2016	au :	25/06/2016

Réglages :			
Détecteur :	SM2BAT+	Fichier :	WAC0
Echantillonnage :	384 kHz	Canaux :	Mono-R
Gain Left :		Gain Right :	36 dB
Trig Left :		Trig Right :	4
HPF Left :		HPF Right :	FS/48
Haut.Mic Left :		Haut Mic Right :	0 - 3 m

Date analyse :	13/09/2016	Logiciel de traitement :	Sonochiro Biotope
		Version *(si info dispo, sinon on retrouvera avec la date)* :	3.3.3.

DONNEES METEOROLOGIQUES — Type relevé : Prévision à la commune

pour les périodes courtes quotidiennement à la commune : http://www.meteo60.fr/

pour les périodes longues au niveau de la station de référence la plus proche à postérioni : http://www.meteo-bretagne.fr/

Si archive, station de réf. : — si sta° ref, distance du site

Date	t°C min noct	t°C max diurne	Pluvio Noct	Force vent	Direction vent	Ensoleillement
(Date du jour)	(Température minimale nocturne prise entre 18h UTC du jour et 18h UTC du lendemain)	(Température maximale diurne prise entre 6h UTC du jour et 6h UTC du lendemain)	(Cumul de la pluviométrie sur 12h entre 18h UTC du jour et 6h UTC le lendemain)	(Force du vent à 21h UTC de la nuit)	(Direction du vent à 21h UTC de la nuit)	(Nombre d'heures cumulées d'ensoleillement entre 6h UTC du jour et 6h UTC du lendemain)
23/06/2016	13,0	25,0	0,0	15,0	NNO	*NA*
24/06/2016	9,0	20,0	0,0	10,0	N	*NA*
25/06/2016	8,0	18,0	0,0	10,0	NO	*NA*

Figure 1. – Tableau de relevé d'informations pour les enregistrements passifs

2. – Traitement et archivage des enregistrements ultrasonores

Les fichiers WAC recueillis sont décompressés et découpés en séquences de 5 secondes au format WAV à l'aide du logiciel WAC2WAV 3.2.7 (© Wildlife Acoustics).

Les séquences WAV de chaque session d'enregistrement sont ensuite traitées par analyse semi-automatique à l'aide du logiciel Sonochiro ® (Biotope, France), avec le référentiel géographique Nord tempéré.

Une validation manuelle de l'identification est réalisée selon la méthode de Michel Barataud [2012 & 2018] à l'aide du logiciel Batsound ® (Pettersson Elektronik, Sweden) pour une sélection de séquences (en général celles de meilleure qualité et avec les plus forts taux de confiance dans l'identification automatique) afin d'établir la liste fiable des espèces contactées dans chaque site.

L'ensemble des validations manuelles du groupe acoustique et de l'espèce, compilées dans la base permet de déterminer le taux d'erreur par classe d'indice de confiance donné par le logiciel Sonochiro ®. Le cumul croissant des erreurs de chaque classe d'indice de confiance permet ainsi de déterminer à partir de quel indice une fiabilité acceptable (moins de 5 ou moins de 10 % d'erreur suivant les cas) est obtenue par ce traitement automatique (*Figure 2*). Pour la suite, les analyses porteront donc sur le dénombrement de l'ensemble des

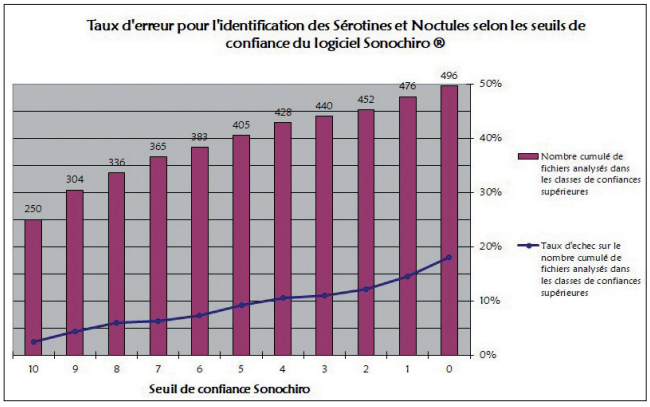

Figure 2. – Graphique de détermination du taux d'erreur cumulé des identifications automatiques Sonochiro ®, exemple des Sérotines et Noctules.

séquences de la nuit d'enregistrement avec un taux de fiabilité de 90 ou 95 % et non plus sur les seules ayant fait l'objet d'une validation manuelle.

Pour chaque session d'enregistrement, la table du résultat de l'analyse automatique Sonochiro ®, complétée de champs de validations manuelles est enregistrée dans un tableau de données et injectée, avec son tableau de relevé correspondant, dans une base de données construite sous ACCESS (© Microsoft Office).

3. – Analyses des données

Deux types d'analyses ont été menés : des analyses visant à expliquer la distribution spatio-temporelle de l'activité acoustique d'espèces et des analyses visant à la constitution de référentiels d'activité qui ne soient pas biaisés par d'autres facteurs que la capacité d'accueil du site.

Pour chaque type d'analyses, l'unité de mesure de l'activité acoustique est le nombre total de minutes positives [Haquart, 2013] d'une nuit complète d'enregistrement. Les déterminants spatiaux et temporels de cette activité acoustique pour la Barbastelle d'Europe et la Pipistrelle commune sont explorés et traités par des modèles linéaires généralisés (GLM) de loi négative binomiale réalisés à l'aide du logiciel R © [R Core Team, 2017].

Pour les analyses d'activité acoustique, 19 variables explicatives parmi celles relevées lors des enregistrements (cf. précédemment) ont été explorées au total :

- des facteurs spatiaux : le département (DEP), la longitude (X) et la latitude (Y) en Lambert II étendu réduites à des valeurs comprises entre 0 et 100 (X / 10 000 et Y / 100 000)
- des facteurs de milieux : le contexte paysager (PAYSAGE), la situation du micro (SITUATION), l'habitat principal (HABSIMP1) et l'habitat secondaire (HABSIMP2) rapportés à des classes simplifiées (boisements, étendues d'eau, zones ouvertes herbacées, parcs et jardins, littoral, zones urbanisées, zones humides)
- des facteurs de réglage du matériel : niveau de trig (TRIG), le gain (en dB) (GAIN), la hauteur du micro (0 à 3 m, 3 à 6 m, 6 à 12 m, 12 à 24 m, plus de 24 m) (HAUTMIC)
- des facteurs temporels : l'année (ANNEE), la saison « chiroptérologique » (PRTPS du 01/04-15/06 : gestation, ÉTÉ du 16/06-31/08 : mise-bas et élevage des jeunes, AUT du 01/09-15/11 : swarming et migration) (SAISON), le mois (MOIS), le jour de l'année (J365), et la durée de la nuit (en heure) (DURNUIT)
- des facteurs météorologiques : température minimale en °C (TMIN) et pluviométrie cumulée en mm (PLUIE) de la nuit – entre 18H00 et 8H00, température maximale en °C (TMAX) du jour précédent
- entre 8H00 et 18H00, force du vent en km/h à 23H00 (VENTFOR)

Les interactions entre variables ont été explorées par le coefficient de corrélation de Spearman de manière à exclure des modèles les variables corrélées avec les effets les moins marqués.

Les modèles sont réduits et simplifiés en utilisant le critère d'information d'Akaike (AIC).

Pour l'élaboration des référentiels d'activité chiroptérologique, nous avons utilisé la méthode des centiles selon les seuils présentés dans le *Tableau I* : pour chaque groupe acoustique, l'activité sera définie selon les classes bornées par les valeurs de centiles d'un lot de nuits d'enregistrement de référence. La classe inférieure sera précisée pour la Pipistrelle commune selon les seuils suivants : activité faible en deçà de 10 % et activité assez faible entre 10 et 25 %.

Centiles des valeurs des nuits de référence	Classe d'activité
< 25%	activité nulle à faible
25 % ≤ < 75%	activité moyenne
75 % ≤ < 90%	activité assez forte
90 % ≤ < 97,5%	activité forte
≥ 97,5%	activité très forte

Tableau I. – Seuils de classes d'activité selon les centiles des valeurs des nuits d'enregistrement de référence

Résultats

1. – Description du jeu de données

Au cours des cinq premières années (2013 à 2017) de collecte de données, 1929 nuits complètes d'enregistrements, réalisées dans 233 sites, ont pu être archivées dans la base de données. Ce total correspond à 1 725 622 séquences ultrasonores de cinq secondes issues du traitement automatique par Sonochiro ®, dont 2 869 ont fait l'objet d'une validation ou invalidation manuelle.

1.a. – Représentativité des enregistrements

La répartition géographique des enregistrements est assez satisfaisante : la localisation des différents sites couvre assez bien la région malgré quelques agrégats et des lacunes en Loire-Atlantique (*Figure 3*).

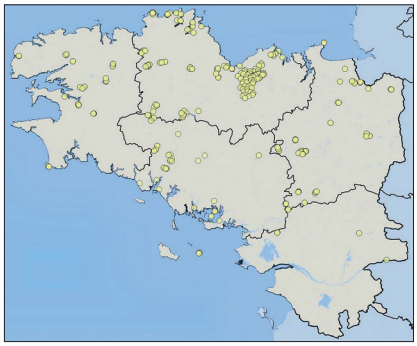

Figure 3. – Localisation des enregistrements réalisés de 2013 à 2017

L'échantillonnage des différents contextes paysagers est également satisfaisant avec au minimum 90 nuits collectées en contexte de plateau de grande culture et au plus 441 nuits en forêt (*Figure 4*).

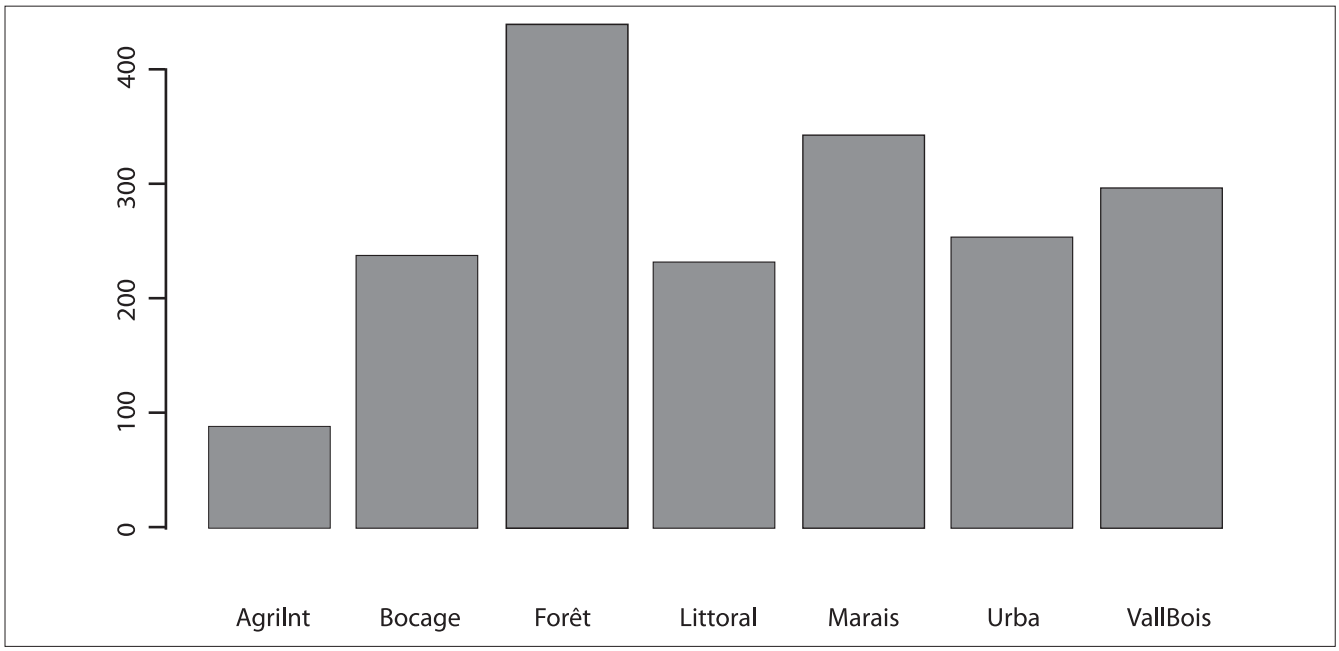

Figure 4. – Distribution des enregistrements réalisés selon les classes de contexte paysager

La distribution des situations d'enregistrements est plus déséquilibrée notamment du fait de deux programmes, l'un sur les chauves-souris migratrices et l'autre sur le suivi de l'activité en forêt, qui ont multiplié les nuits collectées depuis des points hauts, ou en sous-bois. Ainsi, pour l'analyse de l'activité de la Barbastelle, les modalités ont été regroupées en 6 classes afin que les situations les moins fréquentes représentent un nombre de nuits non-négligeable, 73 nuits pour les arbres isolés et 75 nuits pour les lisières (*Figure 5*).

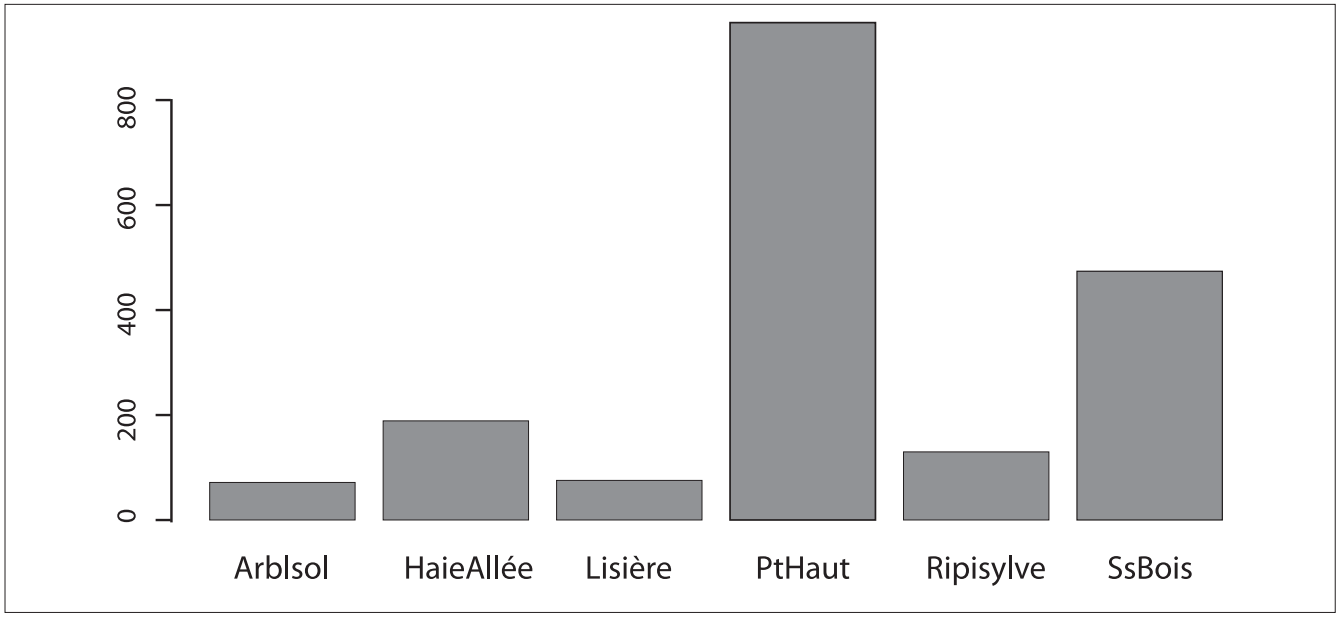

Figure 5. – Distribution des enregistrements réalisés selon les situations du micro[4]

4 ArbIsol = « Arbuste/petit arbre isolé » + « Gros arbre isolé » ; HaieAllee = « Alignements d'arbres » + « Haie favorable » + « Haie peu favorable » ; Lisiere = « Lisière » ; PtHaut = « Point haut » + « Promontoire rocheux, col, haut de falaise » ; Ripisylve = « Ripisylve » + ; SsBois = « Sous-bois ».

Les 23 modalités des habitats d'enregistrements, particulièrement dispersées, ont également été regroupées en 6 classes (*Figure 6*) qui restent assez hétérogènes du point de vue de la pression d'échantillonnage, mais permettent de disposer au minimum de 87 nuits d'enregistrement (pour les habitats de zones humides).

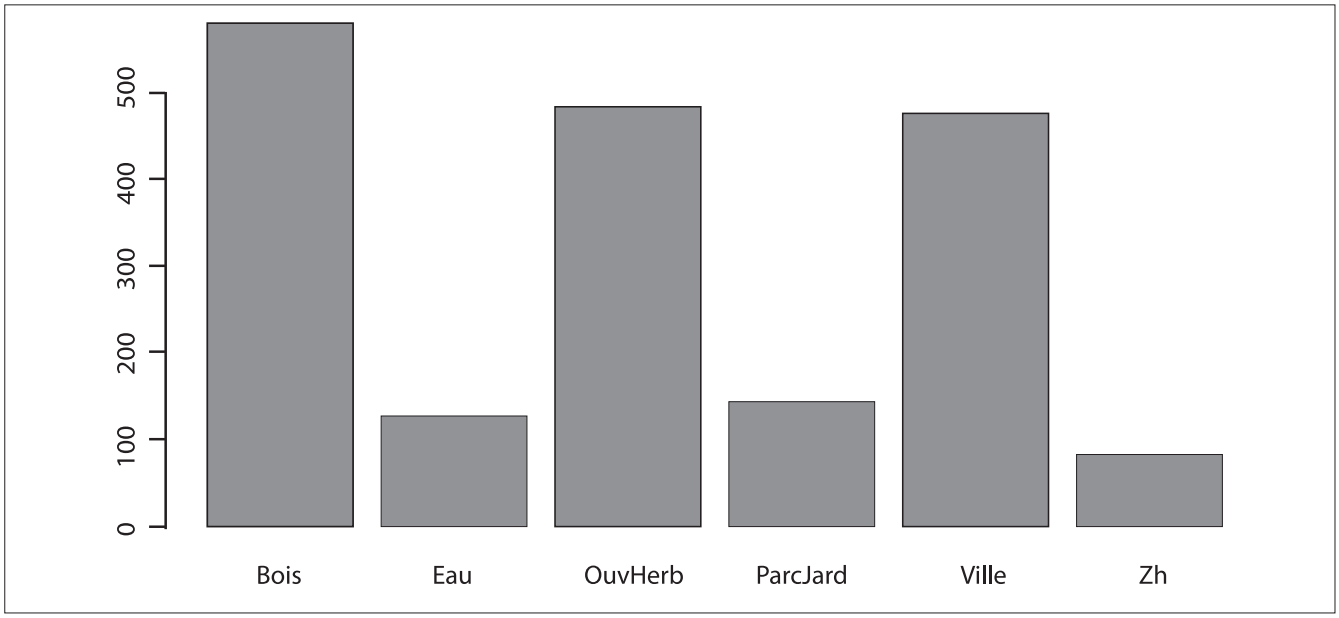

Figure 6. – Distribution des enregistrements réalisés selon les classes d'habitat principal simplifié[5]

Du point de vue temporel, le jeu de données est relativement bien distribué tout au long de la période d'activité des chauves-souris, que ce soit selon les « saisons chiroptérologiques » (*Figure 7*), les mois (*Figure 8*) ou les jours de l'année. Les années sont plus déséquilibrées en défaveur de 2013 qui a fait l'objet de beaucoup moins d'enregistrements (30) que les 4 suivantes (390 à 559 nuits).

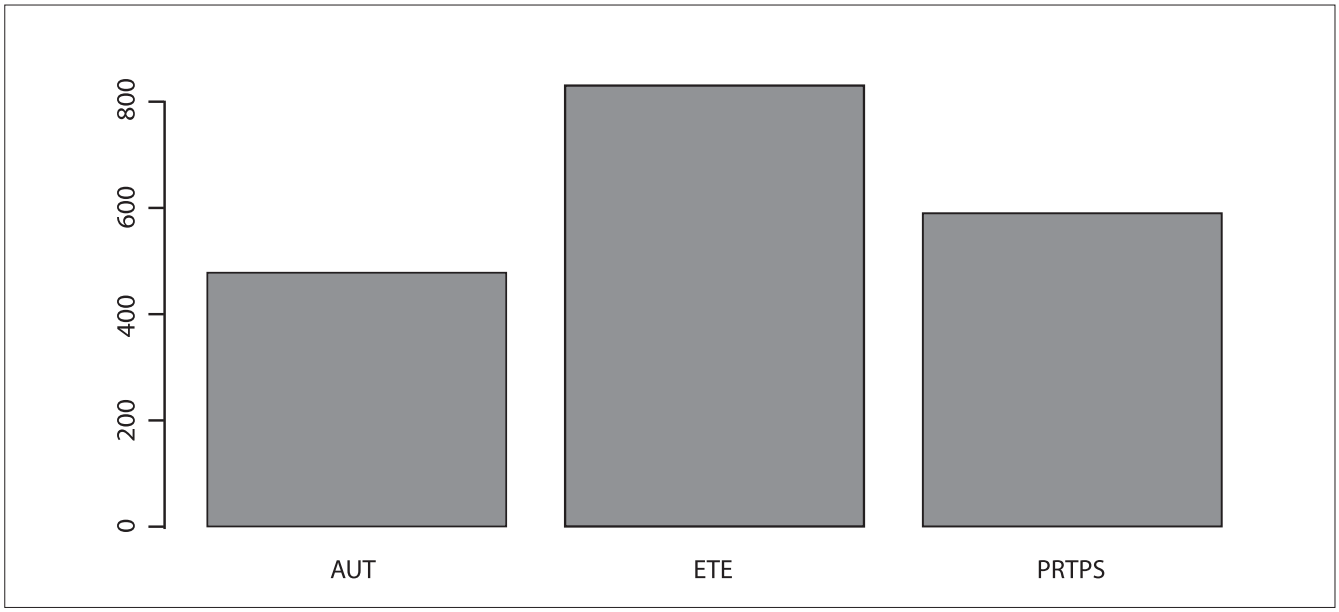

Figure 7. – Distribution des enregistrements réalisés selon les « saisons chiroptérologiques »

5 Bois = « Boisement feuillus pauvres » + « Boisement feuillus riche » + « Boisement principalement résineux » ; Eau = « Mare/lagune/bassins » + « Mer/estran » + « Plan d'eau/estuaire/rivière » + « Rivière/canal » + « Ruisseau » ; OuvHerb = « Cultures » + « Dunes » + « Fourrés/ronciers» + « Lande sèche » + « Prairie sèche » ; ParcJardin = « Jardin » + « Parc » ; Ville = « Centre urbain » + « Zone industrielle/commerciale/artisanale » + « Zone périurbaine » ; ZH = « Lande humide » + « Mégaphorbiaie » + « Prairie humide » + « Roselière ».

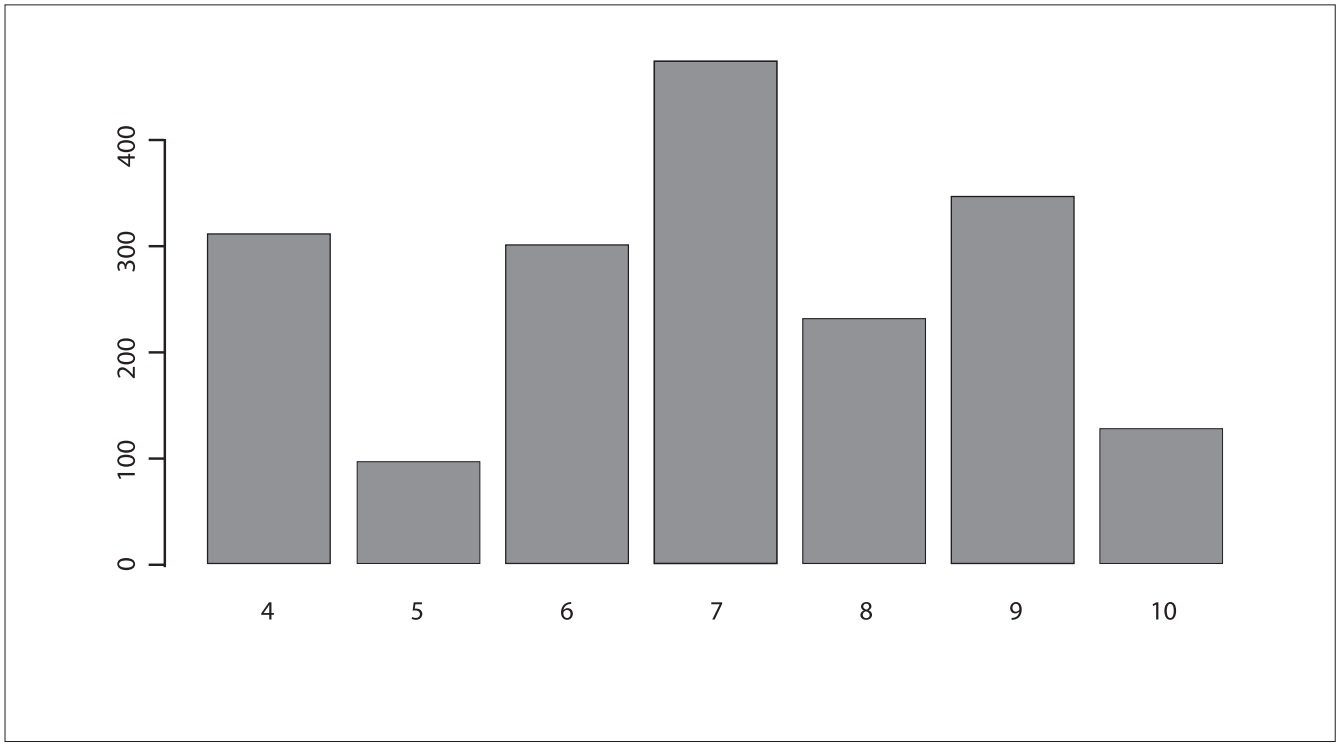

Figure 8. – Distribution des enregistrements réalisés selon les mois de l'année

Concernant les conditions météorologiques, grâce à quelques protocoles d'enregistrements longs (étude des chauves-souris migratrices par exemple) non ciblés sur les plus « belles » nuits, le spectre des conditions météorologiques de la période d'activité des chauves-souris a été relativement bien échantillonné (voir *Figure 9* pour les températures minimales nocturnes par exemple).

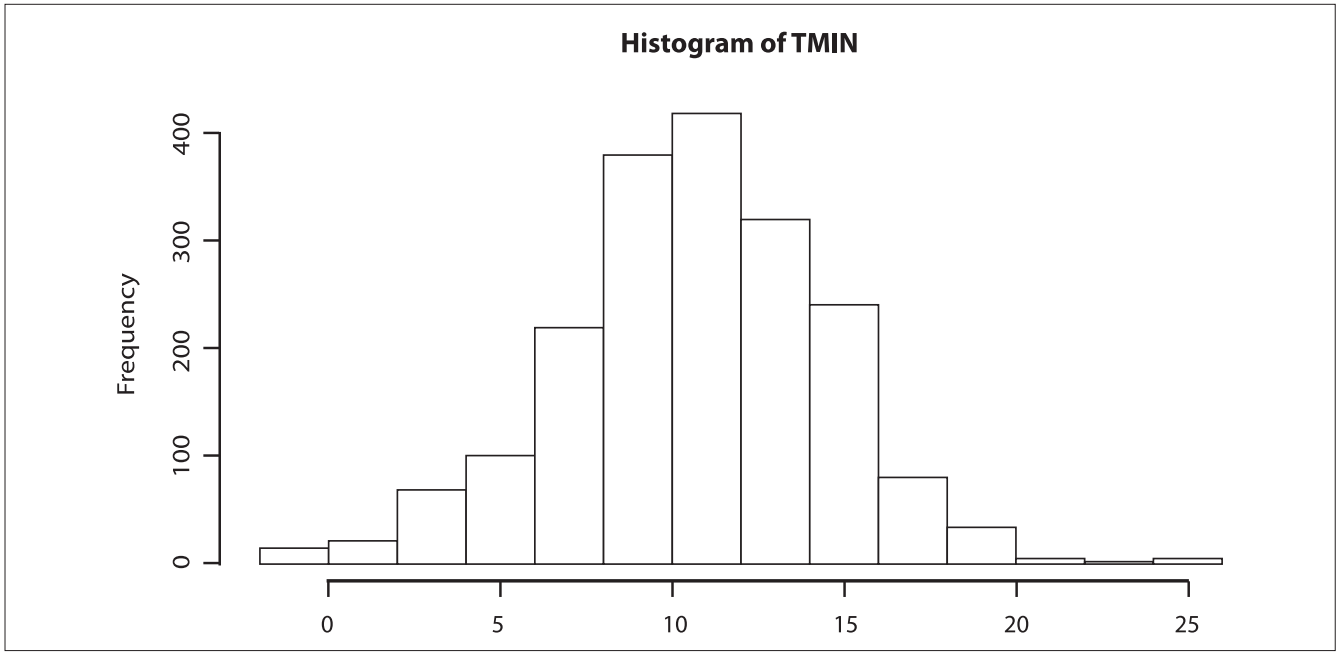

Figure 9. – Distribution des enregistrements réalisés selon la température minimale de la nuit

1.b. – Détermination des seuils de fiabilité des identifications automatiques

Pour la Pipistrelle commune, la détermination des seuils de confiance basée sur 146 séquences validées entre 2013 et 2016 permet d'établir que le lot contenant l'ensemble des séquences identifiées comme Pipistrelle commune par Sonochiro ®, jusqu'au seuil de confiance 0, peut être considéré comme fiable à 90 % (*Figure 10*).

De la même manière, les seuils de fiabilité pour les groupes acoustiques (dont la Barbastelle seule espèce de son groupe acoustique) ont été calculés à partir des 2 869 séquences vérifiées manuellement. Les groupes acoustiques « valides » sont donc établis pour nos analyses selon ces seuils présentés dans le tableau II.

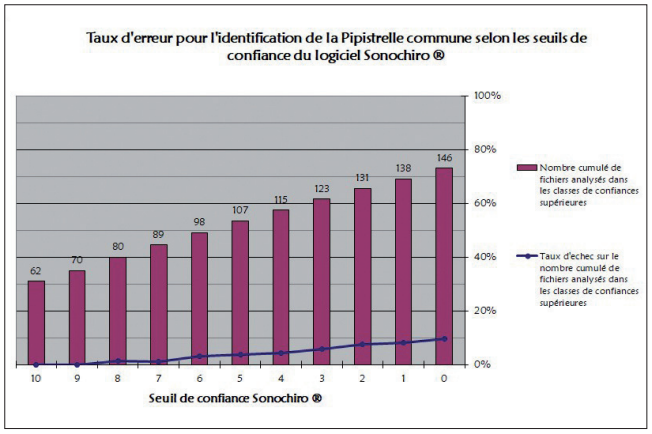

Figure 10. – Taux d'erreur cumulé des identifications automatiques pour la Pipistrelle commune selon l'indice de confiance Sonochiro ®.

1.c. – Effets des réglages et de la durée de la nuit sur la mesure de l'activité acoustique

Les effets des deux réglages de gain et de niveau de trigger sur l'activité de la Barbastelle, de la Pipistrelle commune, ou de l'ensemble des espèces ont été testés par des GLM de loi de Poisson. Dans tous les cas, l'activité ne montre pas d'augmentation significative quand le gain ou la sensibilité augmentent (dans la limite de nos réglages de 36 à 48 dB de gain ou de 6 à 4 de trigger). Nous pourrons donc traiter de manière confondue l'ensemble des données d'activité collectées avec ces deux réglages. A l'inverse, la hauteur du micro, elle, montre un effet défavorable significatif (GLM de loi négative binomiale), au-delà de 6 mètres, sur la Pipistrelle commune ($\alpha < 0{,}001$), et sur la Barbastelle ($\alpha < 0{,}001$). Il faudra donc, soit exclure de l'analyse les enregistrements à plus de 6 mètres de hauteur, soit intégrer l'effet de la hauteur du micro aux modèles.

L'effet de la durée de la nuit sur l'activité de la Barbastelle, de la Pipistrelle commune ou de l'ensemble des espèces a été testé par des GLM de loi négative binomiale. Dans tous les cas, l'activité ne montre pas d'augmentation significative lorsque la durée de la nuit augmente. Cette information nous permet donc de traiter l'activité des chauves-souris en nombre brut de minutes positives dans nos analyses, sans nécessité de corriger ce chiffre par la durée de la nuit.

Groupe acoustique	Indice de confiance du logiciel Sonochiro ®											Nombre de séquences validées pour évaluation de fiabilité
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Barbastelle d'Europe (moins de 5 % d'erreur)	Barbastelle d'Europe											147
Sérotines et Noctules (moins de 10 % d'erreur)	Chauve-souris sp.					Sérotines et Noctules						496
Murins spp. (moins de 10 % d'erreur)	Chauve-souris sp.					Murins						711
Pipistrelles basses (moins de 5 % d'erreur)	Pipistrelles basses											753
Pipistrelles hautes (moins de 10 % d'erreur)	Pipistrelles hautes											289
Oreillards spp. (moins de 10 % d'erreur)	Oreillards											187
Rhinolophes spp. (moins de 20 % d'erreur)	Chauve-souris sp. ou parasites acoustiques						Rhinolophes					286

Tableau II. – Seuils de fiabilité des groupes acoustiques selon les indices de confiance du logiciel Sonochiro ®

2. – Activité de la Barbastelle en Bretagne

2.a. – Exploration du jeu de données

Quinze variables explicatives de l'activité de la Barbastelle ont été explorées. Parmi celles-ci, certaines sont corrélées (coefficient de Spearman supérieur ou proche de |0,7|), et donc exclues de l'analyse :

- la température maximale diurne est exclue au bénéfice de la température minimale nocturne qui présente un effet à priori plus linéaire sur l'activité de la Barbastelle ;
- le mois et le jour de l'année sont exclus au bénéfice de la « saison chiroptérologique » qui est un paramètre moins dispersé que les deux autres (3 modalités seulement) ;
- les habitats simplifiés principaux et secondaires sont exclus au bénéfice de la situation du micro qui n'est pas corrélée avec le contexte paysager, ni avec la hauteur du micro ;
- la hauteur du micro est corrélée avec la longitude, la latitude, et le contexte paysager (corrélations liées à des enregistrements en « altitude » uniquement sur 5 sites suivis pour la migration des chauves-souris). Il nous a semblé pertinent, dans ce cas précis, de réaliser deux analyses, l'une en excluant HAUTMIC au bénéfice de X, Y, et PAYSAGE, et à l'inverse la seconde avec HAUTMIC mais sans X, Y et PAYSAGE.

Prises une à une, les variables conservées (X, Y, SITUATION, PAYSAGE, TMIN, PLUIE, SAISON, HAUTMIC, ANNEE) présentent toutes des effets significatifs sur l'activité de la Barbastelle ($\alpha < 0{,}01$), en dehors de la force du vent (VENTFOR) qui n'est que peu significative ($\alpha < 0{,}1$) mais sera néanmoins testée dans les modèles. L'effet de l'année, est toutefois particulier puisqu'il semble n'être significatif (positivement) que pour l'année 2013, dont on sait qu'elle ne comporte que très peu de nuits d'enregistrement en comparaison des suivantes. Nous faisons donc le choix, pour supprimer cet effet de l'année, d'exclure les 30 nuits de l'année 2013 des analyses pour la suite.

2.b. – Analyse sans effet de la hauteur du micro

Cette première analyse (GLM, loi négative binomiale) porte sur 1899 nuits d'enregistrement réalisées entre 2014 et 2017. Le modèle initial construit avec les 8 variables sélectionnées (X, Y, SITUATION, PAYSAGE, TMIN, PLUIE, VENTFOR, SAISON) est réduit selon la procédure de minimisation du critère d'AIC. Le modèle minimal retenu ne contient plus que les 5 variables suivantes : la longitude, la latitude, la situation du micro, le contexte paysager, et la saison.

Cette première étape est déjà essentielle puisqu'elle illustre que les effets des conditions météorologiques (PLUIE, TMIN, VENTFOR) sur l'activité de la Barbastelle en Bretagne sont négligeables en comparaison de ceux des paramètres saisonniers ou spatiaux (géographie, milieux et paysages).

En définitive l'expression du modèle minimal permet d'identifier les effets exercés par les paramètres suivants sur l'activité de la Barbastelle :

- la longitude a un effet légèrement positif (un peu plus d'activité vers l'Est) très significatif ($\alpha < 0{,}001$) ;
- la latitude a un effet très positif (plus d'activité vers le nord) très significatif ($\alpha < 0{,}001$) ;
- la saison a un effet très significatif ($\alpha < 0{,}001$), la Barbastelle semblant être plus active en période d'élevage des jeunes, qu'au printemps ou en automne ;
- la situation du micro a un effet très significatif ($\alpha < 0{,}001$) : forte activité sur les lisières, allées, haies et faible activité sur les points hauts ;
- le contexte paysager a un effet très significatif ($\alpha < 0{,}001$) : positif dans les paysages boisés et forestiers et négatif dans les paysages littoraux, palustres et urbanisés.

2.c. – Analyse avec effet de la hauteur du micro

La seconde analyse (GLM, loi négative binomiale) porte sur 1899 nuits d'enregistrement réalisées entre 2014 et 2017. Le modèle initial construit avec les 6 variables sélectionnées (HAUTMIC, SITUATION, TMIN, PLUIE, VENTFOR, SAISON) est réduit selon la procédure de minimisation du critère d'AIC. Le modèle minimal retenu ne contient plus que les 3 variables suivantes : la hauteur et la situation du micro, et la saison.

A nouveau, cette étape confirme que les effets des conditions météorologiques sur l'activité de la Barbastelle en Bretagne sont négligeables en comparaison de ceux de paramètres saisonniers ou situationnels (emplacement et hauteur du micro).

L'expression du modèle minimal permet donc d'identifier que :

- la saison a un effet très significatif ($\alpha < 0{,}001$), mais les barbastelles semblent, cette fois, être plus actives en automne qu'au printemps ou en été ;
- la situation du micro détermine de manière significative ($\alpha < 0{,}001$) l'activité mesurée chez la Barbastelle : plus faible au niveau des ripisylves, et sous-bois, qu'au niveau des lisières, allées, et haies ;
- l'activité de la Barbastelle décroît très significativement ($\alpha < 0{,}001$) et très fortement dans les situations d'enregistrement en hauteur (au-delà de 12 m ou de 24 m).

Il ressort de ces deux analyses, d'une part, que la Barbastelle présente une activité acoustique très peu influencée par les conditions météorologiques en Bretagne, les « mauvaises » conditions nocturnes (fraicheur, vent, pluie) n'étant que peu défavorables en comparaison des autres paramètres. D'autre part, l'effet très négatif de la hauteur du micro semble être tel qu'il masque probablement les autres effets dans notre second modèle.

Afin de vérifier cette hypothèse, mais aussi d'affiner notre appréciation de l'effet saisonnier (partiellement contradictoire dans les deux premières analyses), nous

réalisons une troisième analyse complémentaire sur un sous-ensemble des données ne comprenant que les enregistrements réalisés à moins de 3 mètres de haut entre 2014 et 2017. Ce nouveau modèle s'appuiera sur un effet saisonnier apprécié par le mois plutôt que les « saisons chiroptérologiques », et retiendra cette fois, parmi les variables de milieu corrélées, l'habitat simplifié plutôt que la situation du micro.

2.d. – Analyse des seuls enregistrements réalisés à hauteur d'Homme

La troisième analyse (GLM, loi négative binomiale) porte sur 932 nuits d'enregistrement réalisées entre 2014 et 2017 à moins de 3 mètres de haut. Les corrélations entre paramètres pour ce sous-ensemble sont explorées et permettent de retenir 9 variables (X, Y, HABSIMP1, HABSIMP2, PAYSAGE, TMIN, PLUIE, VENTFOR, MOIS) pour la construction du modèle initial. La réduction du modèle selon la procédure de minimisation du critère d'AIC aboutit à retenir les 7 variables suivantes dans le modèle minimal : la longitude, la latitude, l'habitat principal et secondaire, le contexte paysager, le mois, et la température minimale nocturne. La pluviométrie nocturne et la force du vent n'ont, à nouveau, pas d'effet notable sur l'activité.

En conclusion, l'expression du modèle minimal permet d'identifier que :

- la longitude a un effet positif assez peu marqué (plus d'activité vers l'Est) mais très significatif ($\alpha < 0{,}001$) sur l'activité de la Barbastelle ;
- la latitude a un effet positif (plus d'activité vers le nord) très significatif ($\alpha < 0{,}001$) sur l'activité de la Barbastelle ;
- la Barbastelle a une activité croissante au fil de la belle saison ($\alpha < 0{,}001$) avec un effet positif du mois de l'année d'avril à septembre (octobre étant sous échantillonné, *Figure 11*) ;
- pour cette troisième analyse, la température minimale nocturne a, cette fois, un effet significatif ($\alpha < 0{,}001$) légèrement positif sur l'activité : les barbastelles sont les plus actives lors des nuits les plus douces ;
- l'activité de la Barbastelle est significativement ($\alpha < 0{,}01$) réduite dans des paysages urbanisés ;
- l'activité de la Barbastelle est fortement conditionnée par les habitats : elle diminue significativement ($\alpha < 0{,}01$) lorsque l'habitat principal est aquatique ou humide plutôt que boisé mais augmente, à l'inverse, quand l'habitat secondaire est, lui, aquatique.

L'analyse de l'activité de la Barbastelle d'Europe à partir de 932 nuits d'enregistrement réalisées entre 2014 et 2017 avec les micros placés à hauteur d'Homme complète les résultats des analyses conduites sur 1899 nuits d'enregistrement à toutes altitudes (de 1 m à plus de 24 m). Dans ces circonstances, l'activité de la Barbastelle reste peu dépendante des conditions météorologiques nocturnes (simplement un peu plus importante lors des nuits les plus douces) mais très déterminée par les conditions spatiales (milieux, paysages, situation géographique) ou temporelles, avec une activité croissante d'avril à septembre.

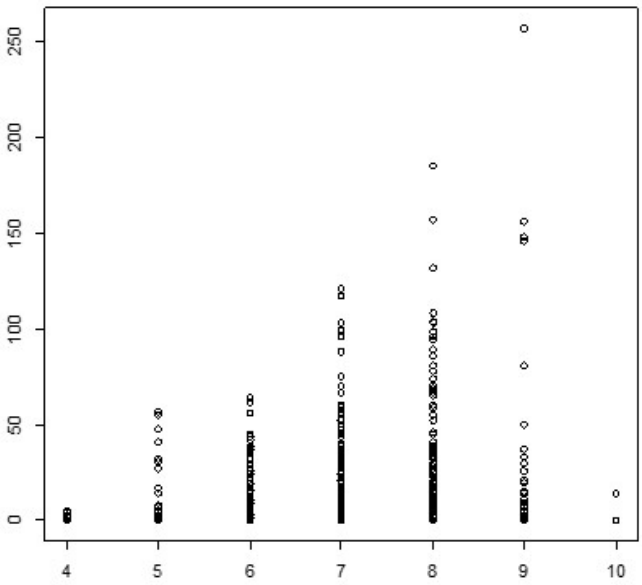

Figure 11. – Distribution de l'activité (en minutes positives de la nuit) de la Barbastelle selon les mois de la belle saison (avril à octobre)

La confrontation des résultats de nos trois analyses nous permet, finalement, d'identifier, qu'en Bretagne, l'activité de la Barbastelle :

- décroît très fortement dans les situations d'enregistrement en hauteur (au-delà de 12 mètres),
- augmente au fil de la belle saison depuis avril jusqu'à septembre,
- est peu influencée par les conditions météorologiques nocturnes (vents forts ou pluie non significativement défavorable, douceur de la nuit légèrement favorable suivant les circonstances),
- est, à l'inverse, très déterminée par des paramètres spatiaux (micro-habitats, milieux, paysages, géographie). Les barbastelles sont plus actives :
  - dans l'est et surtout au nord de la région,
  - lors d'enregistrements réalisés au niveau des lisières, ripisylves, allées et haies,
  - dans les milieux boisés, à l'inverse des espaces urbanisés ou aquatiques, bien que la présence d'un habitat aquatique secondaire demeure favorable,
  - dans des paysages à composante boisée (complexes forestiers, vallées boisées) que dans des contextes paysagers littoraux, palustres, ou surtout urbanisés.

2.e. – Référentiel d'activité de la Barbastelle en Bretagne

Grâce à nos résultats, nous avons pu construire un référentiel régional de l'activité de la Barbastelle qui exclue les biais potentiels en dehors de celui, saisonnier, qui sera représenté en abscisse. Nous avons ainsi pu établir, selon

la méthode des centiles, un référentiel graphique à partir de 816 enregistrements de référence conduits selon les conditions d'application suivantes : nuits complètes d'enregistrement avec moins de 2 mm de pluviométrie cumulée entre 18 et 08H, et moins de 20 km/h de vent mesuré à 23H, réalisées avec des SM2 BAT+ réglés avec un trigger de 4 ou 6 et un gain de 36 ou 48dB, et équipés de micros SMX-US positionnés à moins de 6 mètres de hauteur. Dans ces conditions, en Bretagne, le total de minutes positives de la nuit mesurée, selon le mois de l'année, permet d'apprécier le niveau d'activité de la Barbastelle pour le site concerné (*Figure 12*).

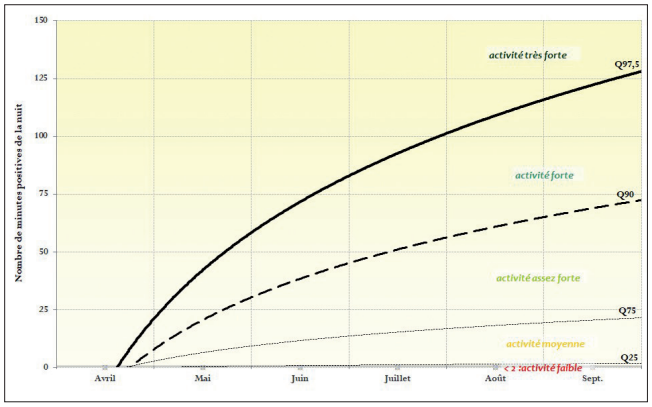

Figure 12. – Référentiel d'activité de la Barbastelle (total des minutes positives de la nuit) en Bretagne

3. – Référentiel d'activité de la Pipistrelle commune en Bretagne

L'analyse de l'activité de la Pipistrelle commune a porté sur 1045 nuits complètes d'enregistrement réalisées entre 2013 et 2016 en Bretagne dans tous types de contexte, d'habitat, de conditions…

Treize variables explicatives de l'activité de la Pipistrelle commune ont été explorées à l'aide d'un GLM de loi négative binomiale. Parmi celles-ci, cinq, non corrélées entre-elles, montrent un effet significatif sur l'activité de la Pipistrelle commune en Bretagne : la situation et la hauteur du micro, le contexte paysager, la température minimale de la nuit et la force du vent.

L'expression du modèle minimal permet donc d'identifier que :

- la situation du micro ($\alpha < 0{,}001$) et le contexte paysager ($\alpha < 0{,}001$) ont un effet significatif sur l'activité de la Pipistrelle commune, de façon variable selon leurs modalités respectives. Néanmoins, comme dans le cadre de l'établissement d'un référentiel, c'est justement la capacité d'accueil du milieu que l'on veut évaluer par rapport à une valeur absolue, il n'est pas opportun de faire un référentiel pour chaque type de situation, ou de paysage (ce qui complexifierait également à l'extrême celui-ci étant donné la dispersion de ces paramètres).
- l'activité de la Pipistrelle commune décroît très significativement ($\alpha < 0{,}05$) et très fortement dans les situations d'enregistrement en hauteur, au-delà de 3 mètres de haut (*Figure 13*) ;

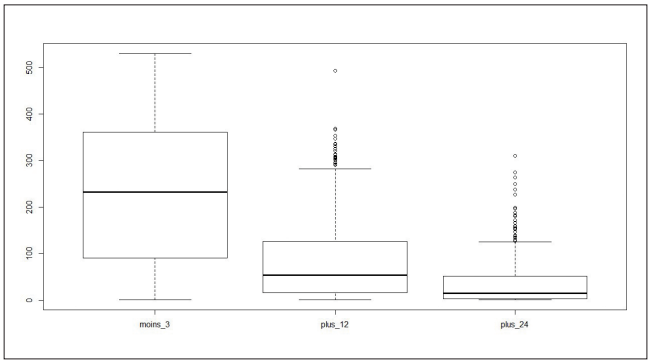

Figure 13. – Distribution de l'activité (en minutes positives de la nuit) de la Pipistrelle commune selon la hauteur du micro

- le vent (vitesse mesurée à 23H00) a un effet significatif ($\alpha < 0{,}001$) négatif sur l'activité de la Pipistrelle commune. Cet effet semble être marqué de manière assez binaire (*Figure 14*) avec un seuil à 20 km/h en deçà duquel l'activité ne semble pas fortement affectée. Considérant cela, et pour simplifier l'établissement des niveaux d'activité de référence, nous émettrons comme condition d'application du référentiel que la vitesse du vent mesurée à 23H00 soit inférieure à 20 km/h ;

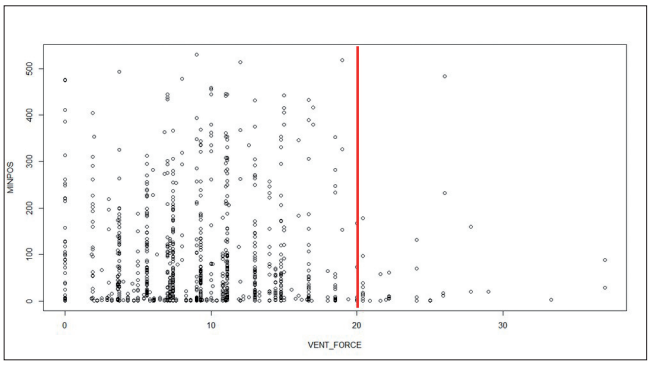

Figure 14. – Distribution de l'activité (en minutes positives de la nuit) de la Pipistrelle commune selon la vitesse du vent mesurée à 23H00

- la température minimale de la nuit a un effet significatif ($\alpha < 0{,}001$) positif sur l'activité de la Pipistrelle commune (*Figure 15*).

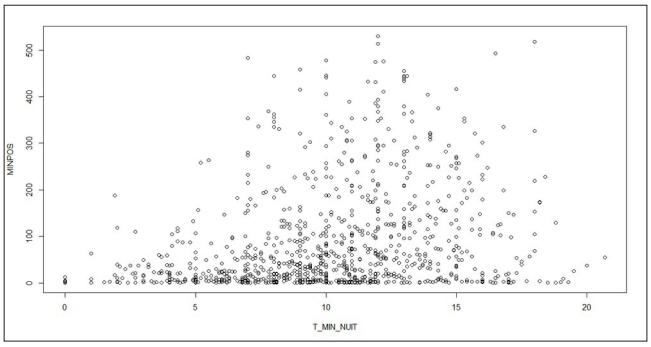

Figure 15. – Distribution de l'activité (en minutes positives de la nuit) de la Pipistrelle commune selon la température minimale de la nuit

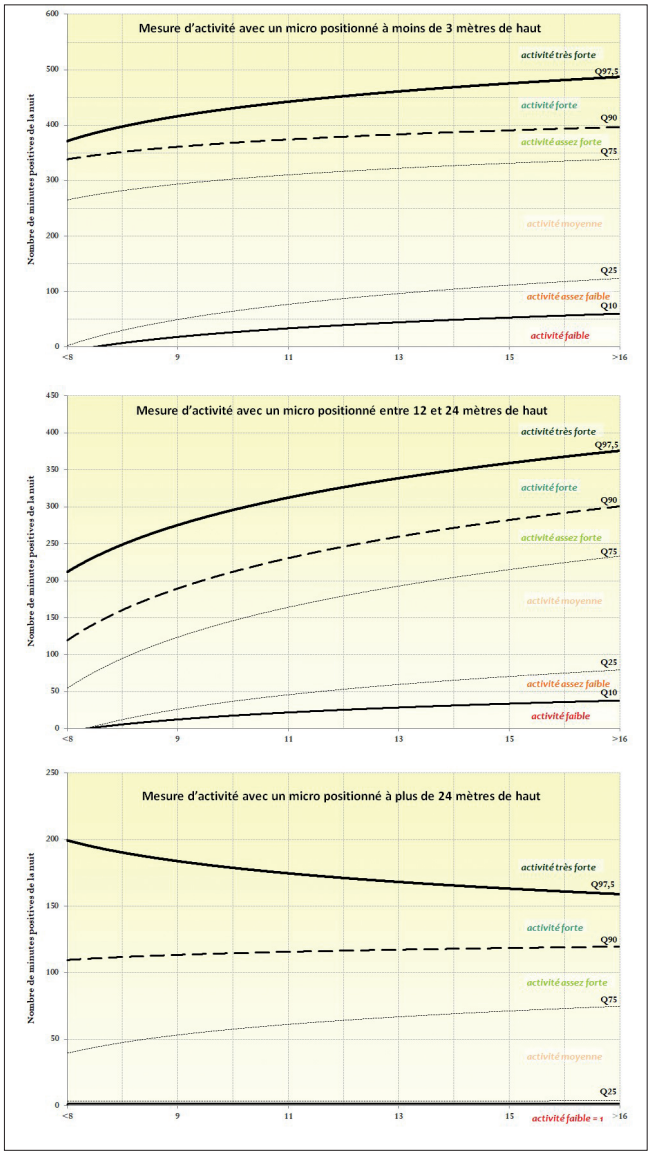

Figure 16. – Référentiel d'activité de la Pipistrelle commune (total des minutes positives de la nuit) en Bretagne à différentes hauteurs d'enregistrement, selon la température nocturne minimale

Grâce à ces résultats, nous pouvons proposer un référentiel régional de l'activité de la Pipistrelle commune, construit selon la méthode des centiles, avec les conditions d'applications suivantes : nuits complètes d'enregistrement avec moins de 2 mm de pluviométrie cumulée entre 18H00 et 08H00, et moins de 20 km/h de vent mesuré à 23H00, réalisées avec des SM2 BAT+ réglés avec un trigger de 4 ou 6 et un gain de 36 ou 48dB, et équipés de micros SMX-US. Dans ces conditions, en Bretagne, le total de minutes positives de la nuit, selon la hauteur d'enregistrement et la température minimale de la nuit, permet d'apprécier le niveau d'activité de la Pipistrelle commune pour le site concerné (*Figure 16*).

4. – Référentiel d'activité des groupes acoustiques de chauves-souris en Bretagne

Afin de construire un outil permettant d'évaluer la qualité du cortège chiroptérologique d'un site donné à partir d'enregistrements de l'activité acoustique nocturne durant des nuits entières, les facteurs, autres que stationnels (longitude, latitude, emplacement du micro, habitats et contexte paysager), dont l'influence est révélée par nos précédents résultats, comme la hauteur du micro ou certaines conditions météorologiques, devront être pris en compte. Pour ce faire, nous construirons ce référentiel à partir d'un sous-ensemble de nuits de référence « stéréotypées » vis-à-vis de ces facteurs, c'est-à-dire peu ou pas marquées par des variations de ceux-ci. Associés à nos caractéristiques de matériel et de réglages des enregistreurs, ces critères de filtre du jeu de données déterminent les conditions d'applications du référentiel régional d'activité acoustique avec des enregistrements réalisés :

- en Bretagne (historique) durant des nuits complètes ;
- à l'aide de SM2 BAT+ équipés de microphones SMX-US placés à moins de 3 mètres de hauteur, et réglés sur un niveau de trigger de 4 ou 6 et un gain de 36 dB ou 48 dB ;
- lors de nuits suffisamment belles, c'est-à-dire avec une pluviométrie cumulée entre 20H00 et 08H00 de moins de 2 mm et une vitesse de vent mesurée à 23H00 inférieure à 20 km/h.

Ces conditions d'application nous permettent de sélectionner 816 nuits de référence à partir desquelles nous construisons le référentiel selon la méthode des centiles (*Tableau III*). L'activité est mesurée en cumul des minutes positives de la nuit entière par groupe acoustique « valide » (c'est-à-dire considérée comme fiable à 90 ou 95 %, *Tableau II*). En effet, à ce stade du développement des logiciels d'identification automatique et de recueil d'enregistrements dans notre base de données, nous ne disposons pas encore d'un jeu de données à l'espèce suffisamment fiable en termes d'identification et assez important en nombre total de minutes positives (notamment pour les espèces rares) pour construire un référentiel spécifique suffisamment robuste.

Centiles	BARBAR	ENVSP	MYOSP	PIP35	PIP50	PLESP	RHISP
25	1	1	1	1	27	1	1
75	37	9	36	46	347	10	5
90	57	16	85	88	406	17	10
97,5	87	24	175	110	443	25	18

Tableau III. – Seuils d'activité des groupes acoustiques[6] en minutes positives totales de la nuit pour différents centiles de 816 nuits d'activité de référence

Afin de visualiser les différentes classes d'activité de l'ensemble des groupes acoustiques selon les seuils définis (*Tableaux I et III*), nous avons construit un profil d'activité chiroptérologique en utilisant un graphique en radar qui permet de figurer une « courbe » des niveaux d'activité de l'ensemble des groupes acoustiques. Deux exemples de profils, très éloignés, sont présentés dans la *Figure 17* à titre d'exemple.

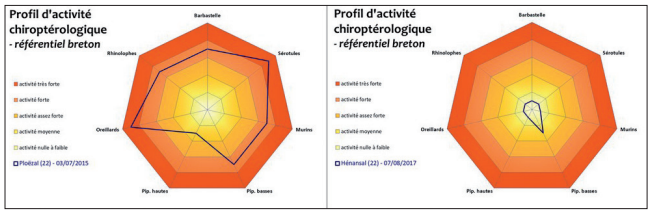

Figure 17. – Deux exemples de profil d'activité chiroptérologique d'après le référentiel breton

Discussion

Pourquoi donc, la Barbastelle se plaît-elle en Bretagne ?

Mais avant tout, est-ce que la Barbastelle se plaît réellement en Bretagne ?

Bien que la démographie bretonne de la Barbastelle ne soit pas établie du fait de gîtes principalement arboricoles qui rendent caduque toute estimation d'effectif basée sur des dénombrements de colonies, plusieurs indices tendent bien à confirmer que cette chauve-souris est au moins fréquente dans la région, si ce n'est plus fréquente en Bretagne que dans bien d'autres régions françaises.

Lors de l'élaboration de la méthodologie nationale de hiérarchisation des sites à chiroptères, le groupe d'experts mobilisé avait, par exemple, donné une responsabilité régionale plus forte à tout l'ouest de la France au motif que l'espèce était plus fréquemment contactée dans cet « arc atlantique » qu'à l'est du pays [Tapiero, 2013]. Dans l'Atlas des mammifères de Bretagne [Simonnet, 2015], la Barbastelle est la troisième espèce la plus capturée et la cinquième la plus détectée par sonométrie durant la période 2005-2014, ce qui en fait une des espèces les plus fréquentes de la région après les Pipistrelles commune et de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*), la Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*) et le Murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*). Des résultats préliminaires des circuits Vigie-Chiro [Bas *et al.*, 2018] montrent, enfin, que l'activité de la Barbastelle, modélisée à partir de suivis acoustiques conduits depuis 2006 en France, est plus importante dans le quart nord-ouest, et notamment en Bretagne, qu'ailleurs en France hormis en Corse et dans le Limousin (*Figure 18*).

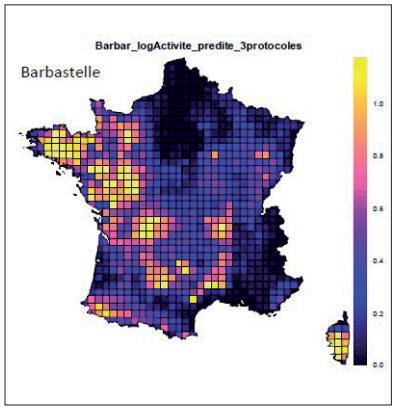

Figure 18. – Carte de l'activité de la Barbastelle modélisée en France à partir des suivis Vigie-Chiro, extraite de BAS *et al.*, 2018.

La Barbastelle apparaît donc relativement fréquente en Bretagne, au contraire d'autres espèces de chauves-souris qui, davantage attirées par les étés secs et chauds, plus propices à un foisonnement d'insectes, dédaignent notoirement la région.

Nos résultats illustrent qu'en Bretagne, la Barbastelle est active quand le biotope lui est favorable, même lorsque les conditions météorologiques sont médiocres. En effet, les analyses des enregistrements passifs collectés et archivés dans notre base de données, permettent d'établir que son activité, bien que soumise, comme chez les autres chauves-souris, à la météo nocturne, n'est que peu influencée par celle-ci en comparaison d'autres facteurs tels que la saison, ou les caractéristiques du site (emplacement, milieu et contexte paysager). La Barbastelle s'accommode donc plutôt bien de conditions défavorables à d'autres espèces, à la belle saison, dès lors que l'espace et la période lui sont favorables. Le crachin fréquent, la fraîcheur sensible ou le léger vent qui caractérisent si bien les nuits d'été de la région ne seraient donc pas un frein conséquent à l'activité de la Barbastelle qui trouve, par contre en Bretagne, une mosaïque d'habitats boisés et bocagers propice à son épanouissement !

Les habitats identifiés comme favorables à l'activité de la Barbastelle en Bretagne, correspondent bien aux milieux de vie de l'espèce déjà notés dans la littérature. A large échelle, les paysages ruraux hétérogènes et arborés (bocage, vallées boisées, complexes forestiers) sont plus propices à la Barbastelle que les espaces urbanisés (ou palustres et littoraux dans une moindre mesure), comme le notent Sierro [2003], Greenaway [2004], Arthur & Lemaire [2009] et Zeal *et al.* [2012]. Les milieux ouverts (étendues d'eau, zones herbacées ouvertes) sont moins fréquentés que les espaces arborés (parcs et jardins, et surtout bocage et boisements). Ceci est d'autant plus vrai que les éléments du paysage utilisés par la Barbastelle se situent à une échelle plus fine, au niveau d'écotones tels que les haies, lisières, allées ou ripisylves conformément au caractère d'espèce de lisière arborée déjà noté dans la bibliographie [Rachwald, 2001 ; Greenaway, 2004 ; Arthur & Lemaire, 2009 ; Rideau & Bonjean, 2014].

6 BARBAR = Barbastelle d'Europe ; ENVSP = Sérotines et Noctules spp. ; MYOSP = Murins spp. ; PIP35 = Pipistrelles basses (Pipistrelles de Kuhl et de Nathusius) ; PIP50 = Pipistrelles hautes (Pipistrelle commune et pygmée et Minioptère de Schreibers) ; PLESP = Oreillards spp. ; RHISP = Rhinolophes spp.

Concernant les déterminants géographiques de l'activité de la Barbastelle en Bretagne, ils pourraient trouver leurs explications dans un possible effet péninsule pour la longitude, ou encore dans des facteurs climatiques (exposition aux vents dominants, moyenne et amplitude thermiques annuelles) correspondant à ce tropisme de l'activité vers le nord et l'est de la région [Dubos, non publié].

Enfin, en ce qui concerne la saisonnalité de l'activité, nous ne pouvons, à ce stade, qu'émettre des hypothèses pour expliquer l'activité croissante du printemps à l'automne, déjà observé pour d'autres espèces par plusieurs auteurs ailleurs en Europe [Staton & Poulton, 2012 ; Amorim *et al.*, 2012]. L'émancipation des jeunes de l'année à partir d'août pourrait, par exemple, expliquer en partie une activité accrue par une plus forte abondance. Les besoins physiologiques de l'allaitement chez les femelles puis de la constitution des réserves de graisse brune avant l'hibernation pourraient également induire une activité d'alimentation croissante en été et en automne. Bien qu'espèce non migratrice à proprement parler, la Barbastelle montre des déplacements saisonniers encore largement inexpliqués [Hutterer *et al.*, 2005 ; Arthur & Lemaire, 2009] qui pourraient aussi induire un accroissement de l'activité, avec des individus plus mobiles et donc, plus souvent sujets à croiser nos micros. Enfin, en lien avec l'hypothèse précédente, une saisonnalité de la ressource alimentaire (microlépidoptères) dans certains milieux pourrait également déplacer l'activité des barbastelles dans des espaces où elles sont plus et mieux détectées.

Des référentiels d'activité pour mieux protéger les chauves-souris.

L'arrivée des détecteurs passifs depuis environ une décennie dans le monde de la chiroptérologie a ouvert la possibilité, jusque-là restreinte par la disponibilité humaine d'une pratique de détection active des ultrasons, d'inventaires et de suivis acoustiques des chauves-souris durant des nuits entières. Cette opportunité a logiquement été saisie par la plupart des chiroptérologues, et les résultats d'études basées sur une mesure d'activité acoustique par enregistrements passifs se sont multipliés, notamment dans le cadre d'études d'impact.

Néanmoins, si l'intérêt de ce matériel est certain, et si la quantité d'information collectée est réellement conséquente, la technique ne fait pas tout, et l'interprétation de ces nuits d'enregistrement pose toujours question. En effet, dans la quasi-totalité des travaux d'enregistrements passifs que nous avons conduits jusque-là (2018), et des résultats d'études d'impact réalisées en Bretagne qu'il nous a été donné de voir, une mise en perspective fiable de la mesure d'activité relative à ces enregistrements n'est pas proposée. Si l'on compare souvent les niveaux d'activité entre espèces ou groupes détectés ou entre sites d'une zone d'étude, la qualification « dans l'absolu » de l'activité mesurée n'est pratiquement jamais réalisée, ou alors d'une manière obscure ou très vague qui n'est pas satisfaisante. Alors qu'il est demandé à des gestionnaires d'espaces naturels ou à des services instructeurs de baser leurs décisions sur ces inventaires, il ne leur est pas fourni de traduction objective de nos mesures d'activité quant à l'intérêt et la capacité d'accueil du milieu pour les chauves-souris… le serpent se mord la queue.

Si la construction de référentiels d'activité s'avère donc indispensable, encore faut-il avoir un jeu de données suffisant pour ce faire. C'est ce que permettent de construire des études dédiées [Haquart, 2013], des programmes structurés d'ampleur comme Vigie-Chiro [Kerbiriou *et al.*, 2006], ou une certaine standardisation des enregistrements passifs réalisés de manière plus opportuniste comme ceux compilés au sein de la base de données élaborée par le GMB. Par exemple, Bas [2018] propose un référentiel d'activité basé sur les mesures d'activité réalisées en France dans le cadre du protocole Vigie-Chiro. En Bretagne, les presque 2000 nuits d'enregistrement compilées entre 2013 et 2017, nous permettent de disposer d'un jeu de données de référence assez large pour certaines analyses, mais encore insuffisant pour d'autres. En effet, la représentativité du jeu de données vis-à-vis de l'ensemble des situations possibles d'enregistrement est assez satisfaisante comme le montrent nos résultats (localisation, disposition, période, paysage, conditions météorologiques…), mais encore toutefois un peu fragile pour des paramètres très diversifiés tels que les habitats que nous devons rassembler en classes plus grossières que celles relevées sur le terrain par exemple. Par ailleurs, si pour les espèces les plus communes et/ou les plus simples à déterminer par l'acoustique, le nombre de séquences collectées permet d'évaluer la fiabilité de l'identification acoustique à l'espèce (Pipistrelle commune, Barbastelle) et donc de réaliser des analyses et construire des référentiels à ce niveau taxonomique, pour d'autres comme les murins, les oreillards ou les rhinolophes, la quantité de matériel collecté au bout de 5 années n'est toujours pas suffisante pour analyser les activités spécifiques de manière robuste, et nous devons donc en rester aux groupes acoustiques.

Les perspectives sont donc nombreuses pour compléter, améliorer, et diversifier nos analyses des mesures d'activité et en tirer des référentiels toujours plus précis, et consistants. En effet, le jeu de données de référence va croître à mesure que nous continuons de compiler les enregistrements passifs réalisés de manière standardisée dans la région. Une seconde version de ce référentiel d'activité par groupe acoustique encore plus représentative de toute la diversité des conditions météorologiques ou stationnelles pourra bientôt être proposée et mise à disposition de la communauté sous une forme plus pratique que le présent article (mise en ligne d'un générateur de profil en « radar » à l'étude), avant, pourquoi pas, d'envisager ensuite un référentiel d'activité qui sera cette fois spécifique.

Conclusion

Les travaux d'analyse des enregistrements passifs d'ultrasons réalisés en Bretagne entre 2013 et 2017 permettent de vérifier pour la région, que la « *Barbastelle est active même par temps humide et frais* » [Arthur & Lemaire, 2009]. C'est d'ailleurs certainement une des raisons de sa fréquence dans la péninsule, en plus d'y rencontrer un paysage mixte, mosaïque de milieux arborés et ouverts riche de lisières et de haies où l'espèce est particulièrement active.

L'activité croissante constatée chez la Barbastelle d'avril à septembre ou vers le nord et l'est de la région n'est pas aussi certainement expliquée, les causes pourraient en être des facteurs climatiques ou biologiques comme la physiologie, la démographie, des mouvements saisonniers, ou encore de disponibilité de la ressource alimentaire.

Cette étude de l'activité bretonne de la Barbastelle a été permise par le choix du GMB de standardiser ses relevés passifs d'ultrasons, et de compiler, non pas les seules occurrences d'espèces, mais bien la totalité des séquences enregistrées de manière opportuniste en Bretagne et en Loire-Atlantique dans une base de données dédiée. Cette démarche d'archivage permet de disposer d'un jeu de données conséquent (près de 2000 nuits d'activité enregistrées dans un large spectre de milieux, de périodes, de localisations, de conditions météorologiques) qui peut être le support de bien d'autres analyses. Nous avons, par exemple, pu explorer les déterminants de l'activité de la Pipistrelle commune en Bretagne, et en déduire un référentiel d'activité régional non biaisé par la hauteur de l'enregistrement, la vitesse du vent ou la pluviométrie nocturne qui affectent significativement cette activité.

Nous avons également étudié les effets de la durée de la nuit, ou des conditions d'enregistrement (météo, réglages et disposition du matériel) sur l'activité de l'ensemble du peuplement chiroptérologique afin d'en déduire les facteurs de variabilité autres que la capacité d'accueil du milieu. Des conditions d'application d'une mesure d'activité en Bretagne non biaisée ont ainsi pu être déterminées : enregistrements réalisés lors de nuits entières peu pluvieuses (moins de 2 mm cumulés) et peu venteuses (moins de 20 km/h à 23H00) à l'aide de détecteurs SM2 BAT+ réglés avec un trigger de 4 ou 6 et un gain de 36 ou 48 dB et équipés de micros SMX-US déportés à hauteur d'homme. Enfin, 816 nuits d'enregistrement de référence répondant à ces conditions ont été sélectionnées afin de construire un référentiel pour l'ensemble des groupes acoustiques qui permet de visualiser clairement le profil de l'activité du cortège chiroptérologique dans le site expertisé.

Remerciements

Je remercie tout d'abord tous les participants aux opérations de déploiement et de relevé des SM2, qui ont apporté l'indispensable concours à la collecte de toutes ces données depuis 2013, ainsi que mes valeureux collègues (souffre-douleurs) qui ont su, avec une patience infinie, supporter l'extrême rigueur (pour ne pas dire rigidité, voire même implacabilité) qui fut imposée aux conditions de mise en œuvre des enregistrements et de relevé des informations : Josselin Boireau, Morgane Caudan, Nicolas Chenaval, Célia Colin, Guillaume Duthion, Delphine Even, Thomas Le Campion, Arnaud Le Houédec, Marie Le Lay, Yoann Prioul, Meggane Ramos, Jean-Marc Rioualen, Franck Simonnet.

Merci à Célia Colin aussi, pour avoir travaillé à l'élaboration de la base de données en 2014 qui nous permet aujourd'hui d'obtenir tous ces résultats.

Ma gratitude va ensuite à Christian Kerbiriou, du MNHN, qui a bien voulu donner de son temps en 2016 pour amorcer les procédures d'analyses et autres scripts R qui deviendront, deux ans plus tard, les résultats présentés ici. Et merci aussi à Yves Bas, qui participa à nos premiers échanges et qui reste toujours disponible pour nos questions de matériel ou d'échantillonnage acoustique.

J'ai également une pensée pour Michel Barataud, qui nous a ouvert à tous les oreilles au monde ultrasonore des chauves-souris et dont l'enseignement est tous les jours précieux.

Je remercie également l'Office National des Forêts et au Centre Régional de la Propriété Forestière de Bretagne pour leur appui à la mise en œuvre des enregistrements en forêt, et particulièrement Guy Le Rest et Pierre Brossier.

Merci à Franck, Geoffrey, Josselin, Meggane et Nicolas pour leur précieuse relecture.

Je remercie, enfin, les partenaires financiers qui ont soutenu et soutiennent les actions d'inventaire, de suivi, ou d'étude à l'occasion desquelles ont été collectés tous ces enregistrements : la DREAL de Bretagne, la Région Bretagne, les Départements des Côtes d'Armor, du Finistère, d'Ille et Vilaine, de Loire-Atlantique et du Morbihan, le Conservatoire du Littoral, l'Institut d'Aménagement de la Vilaine, l'Association de mise en valeur des sites naturels de Glomel, les Communautés de Communes de Lamballe Communauté, Lannion-Trégor Communauté, Paimpol-Goëlo, et du Val d'Ille, et les Villes de Saint-Brieuc, de Rennes et de Vannes.

Références bibliographiques

Amorim F., Rebelo H. & Rodrigues L., 2012. - Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica*, 14 (2) : 439-457.

Arthur L. & Lemaire M., 2009. – *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. Biotope, Mèze ; Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 544 p.

Barataud M., 2012. – *Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe. Identification des espèces, étude de leurs habitat et comportements de chasse.* Biotope, Mèze ; Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 344 p.

Barataud M., 2018. – *Ecologie acoustique des chiroptères.* Michel Barataud, Recherche et études en Bioacoustique. <http://ecologieacoustique.fr>.

Bas Y., 2018. - *Référentiels d'activité des protocoles Vigie-Chiro*. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. <www.vigienature.fr/fr/page/documentations-identification-acoustique>.

Bas Y., Kerbiriou C., Marmet J., Azam C., Le Viol I. & Julien J.F., 2018. - Des nouvelles de Vigie-Chiro ! *XVIIe rencontres « Chauves-souris » de la SFEPM*. Muséum de Bourges. 16-18 mars 2018, Bourges, France.

Dubos T. (coord.), 2016. – *Observatoire des chauves-souris de Bretagne – bilan final*. Groupe Mammalogique Breton, Sizun ; Bretagne Vivante, Brest, 18 p.

Greenaway F., 2004. – *Advices for the management of flight-lines and foraging habitats of the barbastelle bat Barbastella barbastellus*. English Nature Research Reports, 657, 29 p.

Haquart A., 2013. - *Référentiel d'activité des chiroptères, éléments pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française*. Biotope, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 99 p.

Hutterer R., Ivanova T., Meyer-cords C. & Rodrigues L., 2005. - *Bat Migrations in Europe, a review of banding data and literature.* Federal Agency for Nature Conservation, Bonn. 162 p.

Kerbiriou C., Julien J.F., Ancrenaz K., Gadot A.S., Loïs G., Jiguet F. & Julliard R., 2006. - Suivi des espèces communes, après les oiseaux ... les chauves-souris ? *XIe rencontres « Chauves-souris » de la SFEPM*. Muséum de Bourges. 18-19 mars 2006, Bourges, France.

R Core Team, 2017. - *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>.

Rachwald A., 2001. - Barbastelle *Barbastella barbastellus* (Chiroptera: Vespertilionidae) in bats community of Bialowieza primeval forest (eastern Poland). *Proceedings of the VIIIth EBRS 2*: 133-141.

Rideau C. & Bonjean C., 2014. - Ecologie de la Barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*) étudiée par radiopistage en Basse-Normandie Quels enjeux de conservation dans l'ouest de la France ? *XVe rencontres « Chauves-souris » de la SFEPM*, Muséum de Bourges. 14-16 mars 2014, Bourges, France.

Sierro A., 2003. – Habitat use, diet and food availability in a population of *Barbastella Barbastellus* in a Swiss alpine valley. *Nyctalus*, 8 (6) : 670-673.

Simonnet F. (coord.), 2015. - *Atlas des Mammifères de Bretagne*. Locus Solus, Châteaulin, 304 p.

Staton T. & Poulton S., 2012. – Seasonal variation in bat activity in relation to detector height: a case study. *Acta Chiropterologica*, 14 (2) : 401-408.

Tapiero A., 2013. – *Guide méthodologique de hiérarchisation des sites protégés et à protéger à Chiroptères*. Fédération des Conservatoires d'Espaces naturels, Besançon, 13 p.

Zeal M., Davidson-Watts I. & Jones G., 2012. – Home ranges use and habitat selection by barbastelle bats (*Barbastella barbastellus*) : implications for conservation. *Journal of Mammalogy*, 93 (4) : 1110-1118.