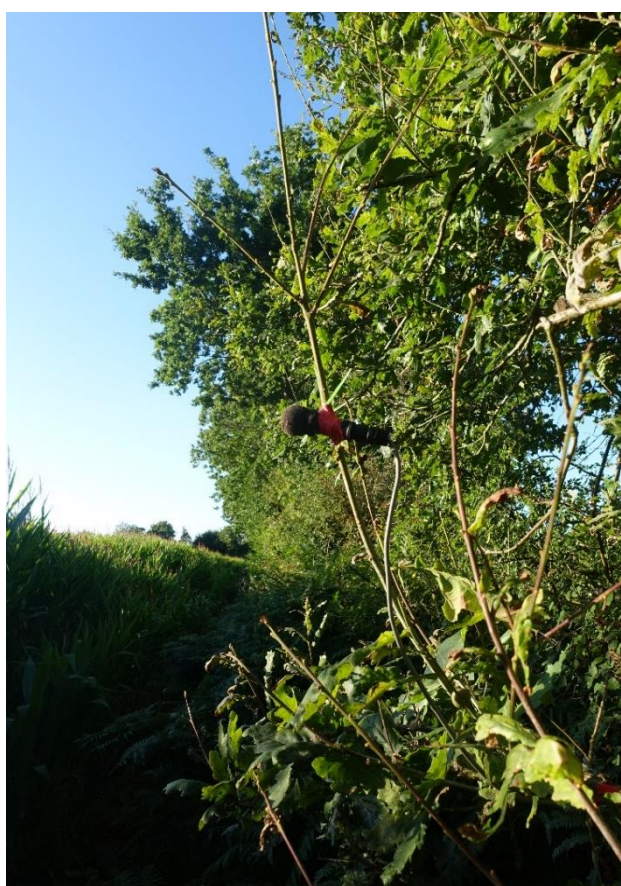




Etude des conséquences de modifications du réseau bocager sur l'activité des chiroptères

Suivi de l'impact des travaux connexes à l'aménagement foncier réalisés à Saint Marc Le
Blanc (35) en 2014



Microphone positionné le long d'une haie ©A.Saweczko



Un oreillard en sortie de gîte ©Y.Le Bris & C.Rousseau

Angèle SAWECZKO

Licence professionnelle ATIB 2019-2020

Stage de juin à août 2020

Tuteur professionnel : Arnaud LE HOUEDDEC

Tuteur universitaire : Thierry LENGAGNE

Résumé

Le présent document s'inscrit dans le cadre du suivi chiroptérologique réalisé sur la commune de Saint-Marc-Le-Blanc dans le département d'Ille et Vilaine de 2014 à 2023. En 2014, la finalisation de l'aménagement foncier a donné lieu à l'ouverture de procédure de travaux connexes portant modifications au paysage. Un arrêté préfectoral portant dérogation à la protection d'espèces animales et de leurs habitats a été rédigé, il précise la réalisation d'un suivi scientifique concernant les chiroptères, modèles d'étude sur la fonctionnalité écologique du réseau bocager. Ce rapport traite des données récoltées entre 2014 et 2019 et a pour objectif l'étude de l'activité des chiroptères selon le type de travaux réalisé sur les haies (arasement, conservation ou replantation). Il cherche à caractériser de possibles changements d'activité dans le temps et selon les types de modifications du paysage, et la structure des haies. Pour cela plusieurs analyses statistiques multivariées ont été construites grâce au logiciel R-3.6.1, pour traiter et tester d'une part les effets « type de modifications du paysage » et « année », et d'autre part des variables structurelles relevées sur les haies. Il en ressort que l'effet « type » n'est pas significatif, l'effet « année » lui, l'est. Pour certains groupes acoustiques de chiroptères on observe une diminution de l'activité moyenne jusqu'en 2018. On apporte alors des explications à ces constats, à travers la partie discussion de ce rapport. Concernant la structure des haies, certaines variables semblent plus intéressantes à approfondir que d'autres, certains sites d'étude se distinguant par leurs caractéristiques structurelles.

Remerciements

Réaliser ce stage de fin de licence professionnelle fut un réel plaisir, une expérience riche en connaissances nouvelles et en moments privilégiés auprès des chauves-souris, des animaux tout aussi étonnants que fascinants.

Découvrir la chiroptérologie a été pour moi passionnant et agréable, et je remercie sincèrement mon maître de stage Arnaud Le Houédec pour ses partages de connaissances, pour les sessions de terrain, pour sa gentillesse et sa bienveillance, pour m'avoir montré le fonctionnement du matériel, et bien sûr pour les formidables sessions de capture, au plus proche des chauves-souris, dans cette ambiance si particulière du monde de la nuit. Merci aussi à chacun des bénévoles et aux soirées sympathiques partagées autour de la table de capture.

Je remercie chaleureusement l'association Bretagne Vivante de m'avoir permis de réaliser ce stage fort intéressant pour moi, mes premiers pas dans le monde de la chiroptérologie, et qui ne seront, c'est certain, pas les derniers.

Merci à mon tuteur universitaire Thierry Lengagne, chercheur au LEHNA, pour ses conseils concernant le rapport de stage.

Je remercie également Sylvain Dolédec, enseignant-chercheur au LEHNA pour son aide précieuse apportée concernant les traitements statistiques, qui m'a permis d'approfondir mes connaissances dans ce domaine et dans la maîtrise du logiciel R ; ainsi que Jean-Paul Léna, enseignant-chercheur au LEHNA, pour son accompagnement.

« Les plus anciennes chauves-souris fossiles connues apparaissent avec certitude dans les dépôts du début de l'Eocène, et probablement dès la fin du Paléocène, soit il y a environ 55 millions d'années » Arthur et Lemaire, 2015.

« La science est surtout une prise de conscience de plus en plus complète de ce qui peut et doit être découvert » Boris Vian.

Sommaire

Introduction	7
I. Contexte et objectif de l'étude.....	9
1.1) Contexte géographique et territorial	9
1.2) Contexte bocager et aménagement foncier	10
1.3) Présentation de l'association Bretagne Vivante	10
1.4) Objectifs de l'étude.....	11
II. Matériel et méthodes.....	11
2.1) Le sujet biologique : les chiroptères	11
2.1.1) Présentation générale	11
2.1.2) Choix des chiroptères pour le suivi sur la commune de Saint Marc-Le-Blanc	12
2.1.3) L'écholocation – utilisation d'ultrasons par les chiroptères.....	13
2.2) Méthode d'échantillonnage	14
2.2.1) Protocole principal : Suivi de l'activité des chiroptères dans les haies	14
2.2.2) Protocole 2 : Suivi du peuplement chiroptérologique de « réservoirs de biodiversité » ...	16
2.2.3) Matériel utilisé et réglages	16
2.2.4) Traitement des enregistrements avec Sonochiro	17
2.3) Traitement des données sonores, analyse	17
2.3.1) Mise en forme des données	17
2.3.2) Traitement statistique par analyses multivariées	18
III. Résultats.....	19
3.1) Evolution de l'activité moyenne des groupes de chiroptères – Approche temporelle et par grands types de modifications du paysage (A,R,C)	19
3.1.1) Evolution de l'activité moyenne en fonction des années pour chacun des groupes acoustiques	19
3.1.2) Influence du type de carrés et de l'année sur l'activité moyenne des chiroptères	20
3.1.3) Etude de la diversité de l'activité.....	21
3.2) Analyse spatiale de la structure des haies	22
IV. Discussion.....	23
Précisions à apporter au protocole	28
V. Conclusion.....	28
Bibliographie	29

Annexes

Annexe 1 – Seuils de confiance selon l'indice de fiabilité Sonochiro par groupe d'espèces (GMB, T.Dubos, 2015).	32
Annexe 2 - Etat des poses d'enregistreurs par carré et par année (source : A.Le Houédec - Bretagne Vivante).	33
Annexe 3 – Test de permutation réalisé sur l'ACP (3.1.2).....	34
Annexe 4 – Graphiques d'évolution (Boxplot) de l'activité moyenne par groupe acoustique de chiroptères en fonction des années.....	34
Annexe 5 – Représentations graphiques de l'Analyse Factorielle des Correspondances des activités moyennes des groupes de chiroptères de 2014 à 2019.....	35
Annexe 6 – Test de permutation réalisé sur l'AFC (3.1.2).....	35
Annexe 7 – Graphiques d'évolution (Boxplot) de l'activité moyenne par groupe acoustique de chiroptères dans les « îlots de biodiversité » en fonction des années.	36
Annexe 8 – Représentations graphiques de Analyse Factorielle des Correspondances des activités moyennes des groupes de chiroptères dans les « réservoirs de biodiversité » de 2014 à 2019, et test de permutation associé.	37
Annexe 9 – Résultats des tests d'ANOVA à 1 facteur sur les années 2016 et 2018.	37
Annexe 10 – Calcul de l'inertie associée à l'Analyse de Hill et Smith sur la structure des haies. ..	38
Annexe 11 – Coefficients de corrélations entre les axes 1, 2 et 3 de l'analyse de Hill et Smith et chaque variable de structure des haies.....	39
Annexe 12 – Détails des résultats de l'analyse de Hill et Smith, sur les variables quantitatives en a, et qualitatives en b.....	39
Annexe 13 – Test de permutation réalisé sur l'analyse de Hill et Smith (axe 1 et 2).....	40



Oreillard roux (Plecotus auritus)
dans les mains expertes de A.Le
Houédec ©A.Saweczko

Table des Figures

Figure 1 – Carte de situation de la commune de Saint-Marc-le-Blanc.....	9
Figure 2 - Sonagramme des 4 grands types de fréquences émis par les chiroptères (source : Sven Verkem- Plecotus/Natagora)	13
Figure 3 - Localisation des carrés d'échantillonnage et typologie (source : A.Le Houedec - Bretagne Vivante).....	14
Figure 4 - Enregistreur SM2BAT+ avec son boîtier visant à le protéger du vol	16
Figure 5 - Graphiques d'évolution de l'activité moyenne par groupe acoustique de chiroptères en fonction des années, et selon le type de carrés A (arasé), C (conservé), et R (replanté).	19
Figure 6 (a,b et c) - Représentations graphiques de l'Analyse en Composantes Principales (selon les axes 1 et 2) des activités moyennes des groupes de chiroptères de 2014 à 2019.....	21
Figure 7 - Indices de diversité de Shannon pour chacun des carrés échantillonnés chaque année.	21
Figure 8 - Représentations de l'analyse de Hill et Smith selon les axes 1 et 2.....	22
Figure 9 - Représentations de l'analyse de Hill et Smith avec les relevés (=carrés) regroupés par type de modifications du paysage.	23

Introduction

Dans un contexte où l'humain exploite abondamment les ressources terrestres, les indicateurs de destruction et d'altération du vivant provoquent alertes et mises en garde sur un déclin sans précédent de la biodiversité. Sur les huit millions d'espèces animales et végétales recensées, environ un million sont menacées d'extinction au cours des prochaines décennies. Cette diminution est causée par les activités humaines et constitue une importante menace pour le bien être de l'humanité elle-même partout dans le monde (IPBES, 2019). Les causes des chutes de la biodiversité sont nombreuses, parmi lesquelles : surexploitation des ressources, fragmentation et destruction des habitats, pollutions, changements climatiques, croissance démographique, introduction d'espèces exotiques envahissantes.

L'agriculture intensive s'avère affecter la diversité des habitats et des groupes d'espèces faunistiques et floristiques (Le Roux et al., 2008 ; Berthe, 2010). Elle est pratiquée depuis les lendemains de la seconde Guerre Mondiale (Robinson et Sutherland, 2002), d'abord afin de répondre à un contexte de pénurie et de nécessité d'autonomie alimentaire, puis dans un contexte d'augmentation importante de démographie à travers le monde. Cela a notamment un impact sur la qualité de l'eau, qui s'en trouve dégradée (Viaud V. et Thomas Z., 2019), et sur les haies, qui peuvent être détruites ou fragmentées, du fait de la mécanisation plus importante de l'agriculture, de l'utilisation d'engrais et pesticides, et de la recherche d'un moindre coût d'exploitation. Or, il est avéré que les haies constituent un réservoir biologique important (Lecq S., 2013 ; Burel F., 1991).

La Superficie Agricole Utilisée représente 62 % du territoire breton en 2016, cette région représente 22 % des productions animales françaises en 2016 (premier rang des régions). A titre d'exemple, le département d'Ille et Vilaine en Bretagne, dans lequel s'inscrit notre étude, se place dans un contexte très agricole. Il est le premier département producteur de lait en France (Agreste Bretagne, 2015). Entre 2000 et 2016, le regroupement ou l'agrandissement des exploitations confirme la restructuration de l'agriculture bretonne (Agreste Bretagne, 2018). Par ailleurs d'autres modifications des paysages et du territoire affectent le réseau bocager. On peut citer, entre 2000 et 2002, la création de l'autoroute A84 Rennes – Caen, qui a nécessité la réalisation d'aménagements fonciers, impliquant des changements d'habitats naturels marquants (zones humides, forêts).

Le nombre et la diversité de nombreux groupes faunistiques sont en diminution. C'est le cas des chiroptères, communément appelés chauves-souris, seuls mammifères capables d'un vol actif. Le programme de sciences participatives Vigie-chiro, faisant partie du programme Vigie-Nature fondé et porté par le Muséum d'Histoire Naturelle, a pour objectif premier le calcul des tendances de population pour un maximum d'espèces de chauves-souris en France métropolitaine (site web Vigie Nature). Une mise à jour récente des évolutions de populations entre 2006 et 2019 montre que les tendances de plusieurs espèces sont au déclin (Vigie-Chiro, 2020), c'est le cas notamment de la Pipistrelle Commune, de la Pipistrelle de Nathusius, de la Sérotine commune et de la Noctule commune. Mais il n'existe pas encore de modèle assez robuste pour toutes les espèces car il n'est pas

toujours possible de séparer les effets météorologiques de la dynamique de population, étant donné le peu de sites suivis en début de période de suivi Vigie-Chiro pour de nombreuses espèces.

L'Observatoire des Mammifères de Bretagne (OMB) indique, dans son bilan final de 2016 (Dubos T., 2016), que l'activité des populations, mesurée par enregistreurs acoustiques dans le cadre du programme Vigie-Chiro, est en probable progression pour certaines espèces (la Pipistrelle de Kuhl), et en probable régression pour d'autres (la Sérotine commune par exemple).

Dans le cadre d'un aménagement foncier ayant débuté en 2006 à Saint-Marc-Le-Blanc, commune du département d'Ille et Vilaine en région Bretagne, les travaux connexes ont été réalisés pendant l'hiver 2014. Un arrêté préfectoral datant du 15 avril 2014 porte dérogation à la protection d'espèces animales et de leurs habitats, et exige qu'un suivi scientifique de la commune soit réalisé chaque année pendant 10 ans, jusqu'en 2023, afin d'évaluer l'impact environnemental. Ce suivi est confié à l'association Bretagne Vivante, et a été centré sur les chiroptères car ils constituent un bon bio-indicateur de la fonctionnalité du bocage. En effet, ils utilisent préférentiellement les haies pour se déplacer vers leurs terrains de chasse, et/ou pour se nourrir, mais aussi pour trouver des gîtes, nocturnes ou diurnes. De plus, ils sont un témoin pertinent de l'érosion du milieu du fait de leur diversité taxonomique et fonctionnelle, du peu de prédateurs qu'ils ont dans la nature, ainsi que de leur sensibilité à de nombreux stress environnementaux (Jones et al., 2009). Enfin, tel que précisé dans la convention de suivi, ils représentent un groupe d'espèces potentiellement très impacté par ce projet. Pour ce suivi, des sites (carrés) d'échantillonnage de type « arasé », « replanté » et « conservé », ont été définis par la méthode SIG de la fenêtre glissante.

Nous cherchons à comprendre quelles sont les conséquences des modifications du réseau bocager sur l'activité des chiroptères. L'« activité » est le nombre de contacts de chiroptères par pas de temps de 5 secondes et par groupe acoustique de chiroptères (Barataud 2012, uniformément employé dans les études diagnostiques). Elle peut être influencée par divers paramètres (par exemple l'heure de la nuit, la distance au gîte, les conditions météorologiques ou encore l'habitat), mais on peut penser qu'elle l'est avant tout par la nature, la structure, et la qualité de l'habitat (Institut de l'Elevage, 2014; Jones et al., 2009 ; Viard, 2017). Nous pouvons ainsi émettre l'hypothèse suivante : l'activité sera plus élevée dans des sites ayant subi peu de modifications, c'est à dire dont la proportion de haies conservées est forte, que dans ceux ayant été majoritairement arasés ou replantés, donc très modifiés.

Différents rapprochements sont à réaliser entre les modifications du réseau bocager et la présence des chiroptères. **Notre étude se concentre sur les changements d'activité des peuplements de chauves-souris selon deux approches : l'étude de l'existence de variation temporelle de l'activité selon les grands types de modifications de paysage (arasé, replanté ou conservé), et l'étude de la structure des haies définie par plusieurs variables.**

I. Contexte et objectif de l'étude

1.1) Contexte géographique et territorial

Le suivi est réalisé dans le canton historique du Coglais dans le Nord-Est du département de l'Ille-et-Vilaine (35). Le territoire de la Communauté de communes Couesnon Marches de Bretagne naît en janvier 2017 de la fusion de l'intercommunalité Coglais Communauté Marches de Bretagne avec celle d'Antrain. La Commune de Saint Marc Le Blanc (35460), sur laquelle a eu lieu l'aménagement foncier, se situe dans le Coglais et appartient à cette communauté de communes. Elle se trouve à 39 kilomètres au nord-est de Rennes (cf Figure 1).

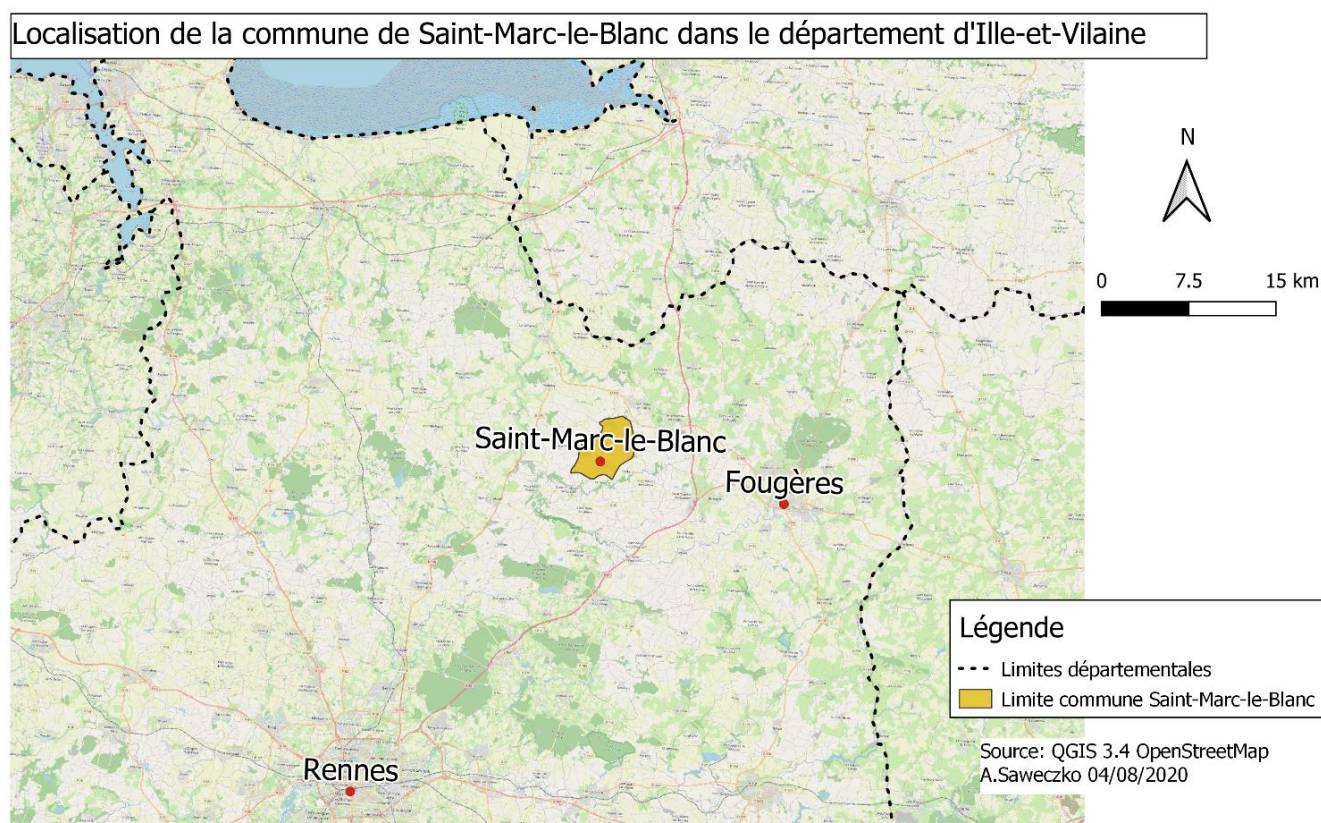


Figure 1 – Carte de situation de la commune de Saint-Marc-le-Blanc

La commune s'inscrit dans un plateau aux altitudes assez homogènes, variant entre environ 88 et 110 mètres d'altitude. Le sous-sol est essentiellement constitué de granodiorite, datant de 600 millions d'années, couvert par endroit d'alluvions limono-argileux (source : InfoTerre BRGM). Le climat est de type tempéré océanique avec des hivers doux et étés modérément chauds, à influence continentale, du fait de la position à l'intérieur des terres de cette zone. Le réseau hydrographique est dense, avec des cours d'eau permanents ou non, appartenant au bassin versant du Couesnon. La pluviométrie (indiquée pour la ville de Rennes, wikipédia) est d'en moyenne 700 millimètres par an.

Le paysage est dominé par une activité en polyculture-élevage, constitué de champs cultivés (principalement maïs) et de pâtures, entourés par des haies. L'activité agricole est très développée sur ce territoire, avec de nombreuses exploitations, la plupart pratiquant l'agriculture dite

conventionnelle. Sur le périmètre de l'aménagement foncier, en 2013, seule une exploitation était en agriculture biologique (Le Dréan-Quénec'hdu S., 2013).

La présence sur ce territoire de deux colonies principales et une colonie annexe de Petit rhinolophe (l'une des plus importantes populations de ce chiroptère *Rhinolophus hipposideros* en Bretagne) a conduit à la mise en place de la ZNIEFF de type 1 « Le Rocher Bigot et la Vairie ». Par ailleurs la ZNIEFF est intéressante pour son herpétofaune (Alyte accoucheur *Alytes obstetricans* par exemple), son avifaune (Bondrée apivore *Pernis apivorus* par exemple), ainsi que la présence du Lucane cerf-volant et de l'Ecaille chinée (2 espèces d'insectes prioritaires au niveau européen) (INPN).

1.2) Contexte bocager et aménagement foncier

La commune de St Marc le Blanc réalise depuis 2006 un aménagement foncier agricole et forestier (AFAF) sur l'ensemble de son territoire (à l'exclusion de son bourg), constitué à ce moment là d'un nombre élevé de petites parcelles morcellées ou enclavées. La maîtrise d'ouvrage du projet a été assurée par le Conseil Général d'Ille et Vilaine. Saint Marc Le Blanc assure la maîtrise d'ouvrage des travaux connexes à l'aménagement foncier à partir de fin 2014.

Cet AFAF a pour objectif une restructuration des terres agricoles afin de rapprocher les terres des bâtiments des exploitants, augmenter la surface parcellaire moyenne, et ainsi de faciliter leurs activités. Les travaux connexes comprennent par exemple la « création et l'aménagement de chemins ruraux, de voies communales et de chemins de randonnées (5585 mètres linéaires (ml)), des haies à araser (13900 ml), des haies à plat à créer (18061 ml),... » (Le Dréan-Quénec'hdu S., 2013).

Saint Marc le Blanc possède le bocage le mieux conservé dans le Coglais, avec 100 mètres linéaires /hectares en 2013 (Le Dréan-Quénec'hdu S., 2013). Le bocage désigne un type de paysage dans lequel les champs agricoles et les prairies sont enclos par des haies (structure végétale linéaire associant arbres, arbustes et arbrisseaux). Il est important pour l'agriculture et l'environnement : lutte contre l'érosion des sols, protection des animaux et culture, prévention d'inondations et préservation de la qualité de l'eau, milieu de vie d'une grande biodiversité. Le bocage historique breton a commencé à se développer au cours du Moyen Age, puis s'est étoffé aux XVIII et XIXème siècles, pour finalement subir des remembrements et dégradations aux XX et XXIème siècle. En Ille et Vilaine par exemple une régression de 50% du maillage bocager est observée pour les communes du Coglais ayant réalisé un aménagement foncier entre 1978 et 2006 (Berthe, 2010) (Rouault, 2009). Afin de restaurer le maillage bocager et la structure du paysage, des actions ont lieu dans la cadre par exemple du programme « Breizh-bocage » (replantation et restauration de haies) (Site web Bretagne Porte de la Loire Communauté, département Ille et Vilaine).

1.3) Présentation de l'association Bretagne Vivante

Bretagne Vivante est une association agréée pour la protection de l'environnement, constituée en 1958 et reconnue d'utilité publique en 1968 (Association Loi 1901). Elle regroupe, en 2019, 5 départements, pour un nombre de 66 salariés, 300 bénévoles actifs et 3500 adhérents. Bretagne

Vivante est membre fondateur de grandes structures nationales et régionales telles que France Nature Environnement, Réserves Naturelles de France et le Réseau d'Éducation à l'Environnement en Bretagne (REEB) (site web Bretagne Vivante). Son domaine d'actions est large, il s'étend à toutes les questions de défense de l'environnement, et en priorité au domaine de la biodiversité, afin que celle-ci soit au maximum prise en compte auprès des citoyens, des élus et des acteurs économiques.

1.4) Objectifs de l'étude

L'étude d'impact, menée entre 2014 et 2023, et basée sur l'analyse de la fréquentation des chiroptères au sein du bocage de la commune, doit répondre à plusieurs objectifs :

- Améliorer les connaissances concernant l'utilisation des haies par les chiroptères ;
- Evaluer les changements locaux de l'activité initiale (2014) des chiroptères liés aux modifications du bocage ;
- A terme, comparer les changements locaux de l'activité des chiroptères aux changements globaux sur les populations de chauves-souris observés au travers d'autres études régionales et nationales.

Une première analyse statistique poussée des données avait été conduite après 3 années, en 2017 (Viard, 2017).

Le présent rapport traite des données récoltées entre 2014 et 2019. Il cherche, notamment par des analyses statistiques multivariées, à caractériser l'évolution sur 6 ans de l'activité de groupes d'espèces de chiroptères selon le type de travaux réalisé sur les haies (arasement, conservation ou replantation). Dans le cadre de ce stage, les relevés d'activité chiroptérologique de l'année 2020 ont aussi été réalisés en août, ils seront pris en compte dans les prochaines analyses.

II. Matériel et méthodes

2.1) Le sujet biologique : les chiroptères

2.1.1) Présentation générale

Les chiroptères représentent l'ordre des mammifères le plus diversifié après celui des rongeurs (autour de 1200 espèces, répartis partout dans le monde, excepté au niveau des pôles). En Europe, quatre familles, principalement insectivores, sont représentées: les Vespertilionidés, les Rhinolophidés, les Minioptéridés et les Molossidés. De fait, elles ont un rôle majeur dans les équilibres biologiques : elles régulent les populations d'insectes nocturnes en mangeant un très grand nombre par nuit (une chauve-souris est capable de capturer par nuit de chasse un poids d'insectes équivalent à 1/3 du sien (Institut de l'Élevage, 2014). Par exemple, le Murin de Daubenton capture environ 60 000 moustiques et autres moucheron entre mai et octobre (Arthur et Lemaire, 2015). Elles constituent ainsi des auxiliaires de l'agriculture et de la sylviculture, mais aussi de la santé humaine (par exemple dans la régulation des populations de moustiques tigres vecteurs de maladies comme le chikungunya). En Amérique du Nord le syndrome du nez blanc a entraîné depuis 2006 des morts massives de chiroptères, entraînant de grandes pertes pour l'agriculture, de plus de 3,7 milliards de dollars /an (Boyles et al. 2011).

Le cycle vital d'une chauve-souris est constitué de deux grandes phases : une phase active et une phase d'hibernation. En avril-mai les femelles se regroupent en colonies de plusieurs dizaines à centaines d'individus, dans des gîtes d'été (combles, greniers, cavités d'arbres). Elles vont y mettre bas et élever les jeunes (1 petit par an en général). Les accouplements ont lieu en automne, les chiroptères pratiquent l'ovulation différée, les femelles gardent le sperme dans leurs voies génitales durant l'hiver. En sortie d'hibernation en mars-avril l'ovulation puis la fécondation s'enclencheront. Durant la léthargie hivernale, les chiroptères passent à un mode de vie ralenti : le Grand murin par exemple, en véritable hibernation, passe d'un rythme de 400 battements par minute à seulement une dizaine environ (Site web Bretagne Vivante). Ils utilisent des gîtes souterrains (cavités naturelles, tunnels ou autres abris anthropiques), des cavités d'arbres, des fissures de roches, selon les espèces, et sont alors très vulnérables (prédation, écarts thermiques) (Groupe mammalogique Breton, 2015).

A l'échelle internationale, les chiroptères sont protégés par la Convention de Bonn (1983). Les espèces européennes sont protégées par la Convention de Berne mise en application à travers la Directive Habitat-Faune-Flore (Directive 92/43/CEE, 1992) (Site web INPN). Elles sont toutes classées en Annexe IV de cette Directive, dont 12 en Annexe II. En France, depuis la loi de Protection de la Nature de 1976, toutes les espèces sont protégées. Elles le sont aussi par l'arrêté du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. En France, 34 espèces sont présentes. En Bretagne, 22 espèces de chauves-souris appartenant à 3 familles ont été recensées (Groupe mammalogique Breton, 2015), dont 2 espèces de Rhinolophidés, 19 espèces de Vespertilionidés et 1 espèce de Minioptéridés. La Bretagne comporte 17% de la population française de Grand rhinolophe (site web Bretagne Vivante). En Ille et Vilaine, 18 espèces sont représentées, les 18 sont présentes sur le territoire du Coglais (Le Houédec, com.pers.), qui fera l'objet de notre attention.

Les pressions subies par les chiroptères sont avant tout anthropiques, les premiers facteurs les perturbant étant notre démographie et nos modes de vie (Hutson et al., 2001) (Arthur L. & Lemaire M. 2015). Les caractéristiques des chauves-souris (taux de natalité faible, fidélité au gîte et aux territoires de chasse, utilisation de la structure du paysage pour la chasse et les déplacements,...) les rendent très vulnérables aux activités humaines et aux modifications de leur habitat. Les effectifs de populations de nombreuses espèces ont diminué (Plan National d'actions Chiroptères, 2017) pour causes de destruction des gîtes (dérangements répétés et fermeture des accès, rénovation de bâtiments, coupes d'arbres), fragmentation du paysage par les infrastructures de transport ou les éoliennes, disparition ou dégradation de leurs terrains de chasse et déplacement, intensification de l'agriculture...

2.1.2) Choix des chiroptères pour le suivi sur la commune de Saint Marc-Le-Blanc

Les haies sont très importantes pour les chiroptères. Ils les utilisent comme terrains de chasse et corridors de déplacements (les mêmes « routes de vol » sont utilisées par certaines espèces chaque nuit), les proies y sont abondantes et diversifiées (Godineau et Pain, 2007). Les haies constituent

également une protection contre le vent (Verboom & Huitema, 1997) et les prédateurs (Observatoire de l'Environnement en Bretagne), et sont utilisées comme gîtes par des espèces arboricoles, mais aussi comme support pour une chasse à l'affût (pratiquée par exemple par le Grand rhinolophe, (Arthur et Lemaire, 2015)). « Le choix de suivre spécifiquement ce groupe d'espèces est justifié par le fait que les chiroptères représentent le groupe d'espèces le plus impacté par le projet et constituent un bon indicateur de l'impact de l'aménagement foncier sur la fonctionnalité écologique du réseau bocager » (Convention de Partenariat entre Coglais Communauté et Bretagne Vivante, 2014). L'activité des chiroptères est plus forte près des haies qu'en milieux ouverts, tandis ce qu'elle diminue dans un paysage qui a subi une forte diminution de son réseau bocager, ou lorsqu'on a une absence d'arbres de plus de 40 mètres au coeur d'une haie (Berthe, 2010, étude menée à une échelle locale sur le territoire du Coglais). Les chiroptères constituent ainsi des bio-indicateurs adaptés dans le cadre de ce suivi.

2.1.3) L'écholocation – utilisation d'ultrasons par les chiroptères

Les chiroptères utilisent l'écholocation pour s'orienter et chasser. Ils émettent des signaux ultrasonores par le nez ou par la bouche, puis réceptionnent l'écho retour avec leurs oreilles. Ils construisent ainsi une image tridimensionnelle fine de leur environnement (Arthur L. & Lemaire M. 2015). Ces émissions sonores constituent également un moyen de communication entre individus d'une même espèce ou d'espèces différentes. Le phénomène d'écholocation est complexe, et ne repose pas seulement sur une simple réflexion. La structure lisse ou velue de la cible entre en compte, ainsi que des ondes rampantes qui contournent la cible avant d'être réémises. Le mouvement de la cible peut aussi être perçu, grâce à des différences d'échos entre corps et ailes par effet Doppler. L'écho principal est accompagné d'un nuage d'échos, avec des variations précises d'intensité et de temps (Barataud, 2012).

Les signaux de localisation acoustique émis par les chiroptères européens se situent à des fréquences entre 10 et 110 kHz (Arthur L. & Lemaire M. 2015). La majorité de ces sons ne sont donc pas audibles par l'homme qui n'entend qu'une gamme de fréquence entre 0,02 kHz et 18 kHz.

Ces cris constituent la signature acoustique des espèces de chiroptères et leur analyse permet d'identifier des espèces ou groupes d'espèces de chauves-souris. Ils sont classés en quatre grands types de structure (cf Figure 2) :

- la FM (fréquence modulée) abrupte, utilisée principalement par les genres *Myotis*, *Plecotus*, *Barbastella*.
- la FM aplanie, principalement par les genres *Eptesicus*, *Pipistrellus*, *Nyctalus*, *Miniopterus*.
- la QFC (Quasi-Fréquence constante), par les mêmes genres que pour la FM aplanie.

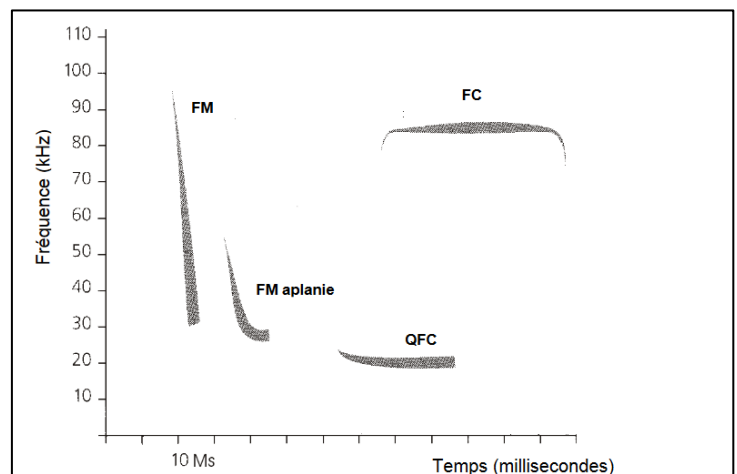


Figure 2 - Sonagramme des 4 grands types de fréquences émis par les chiroptères (source : Sven Verkem- *Plecotus/Natagora*)

- la FC (Fréquence constante), utilisée par le genre *Rhinolophus*.

Les types d'ultrasons sont résultats de la morphologie des chiroptères (petite ou grande taille), de leur physiologie (émissions par la bouche ou le nez), de leur comportement (chasse, communication, déplacement), de l'environnement dans lequel ils se trouvent à ce moment là (milieux plutôt ouverts ou fermés, encombrés ou non...) (Barataud, 2012).

2.2) Méthode d'échantillonnage

2.2.1) Protocole principal : Suivi de l'activité des chiroptères dans les haies

Le protocole (validé par Eric Petit, chercheur à l'INRA, et spécialiste en chiroptérologie), consiste en l'échantillonnage chaque année entre août et septembre de trois grands types de secteurs : les secteurs « haies arasées », « haies replantées » et « haies maintenues/pérennes ». Afin de déterminer les différents sites à échantillonner, le principe SIG de la fenêtre glissante a été utilisé, il permet, en fonction des moyens matériels nécessaires et des obligations temporelles de cycles biologiques, de disposer d'un nombre de sites suffisants par type. Ces sites ont été déterminés par calcul de proportions significatives en haies conservées, arasées ou bien replantées.. Finalement 10 sites (carrés de 577 mètres de côté) par types de secteurs ont été définies (cf Figure 3) :

- 10 sites maintenus, qui ont subies le moins de perturbations
- 10 sites replantés. Les sites avec une majorité de haies replantées étant assez rares, ces sites là peuvent comporter un linéaire de haies arasées ou de haies maintenues supérieur au linéaire replanté.

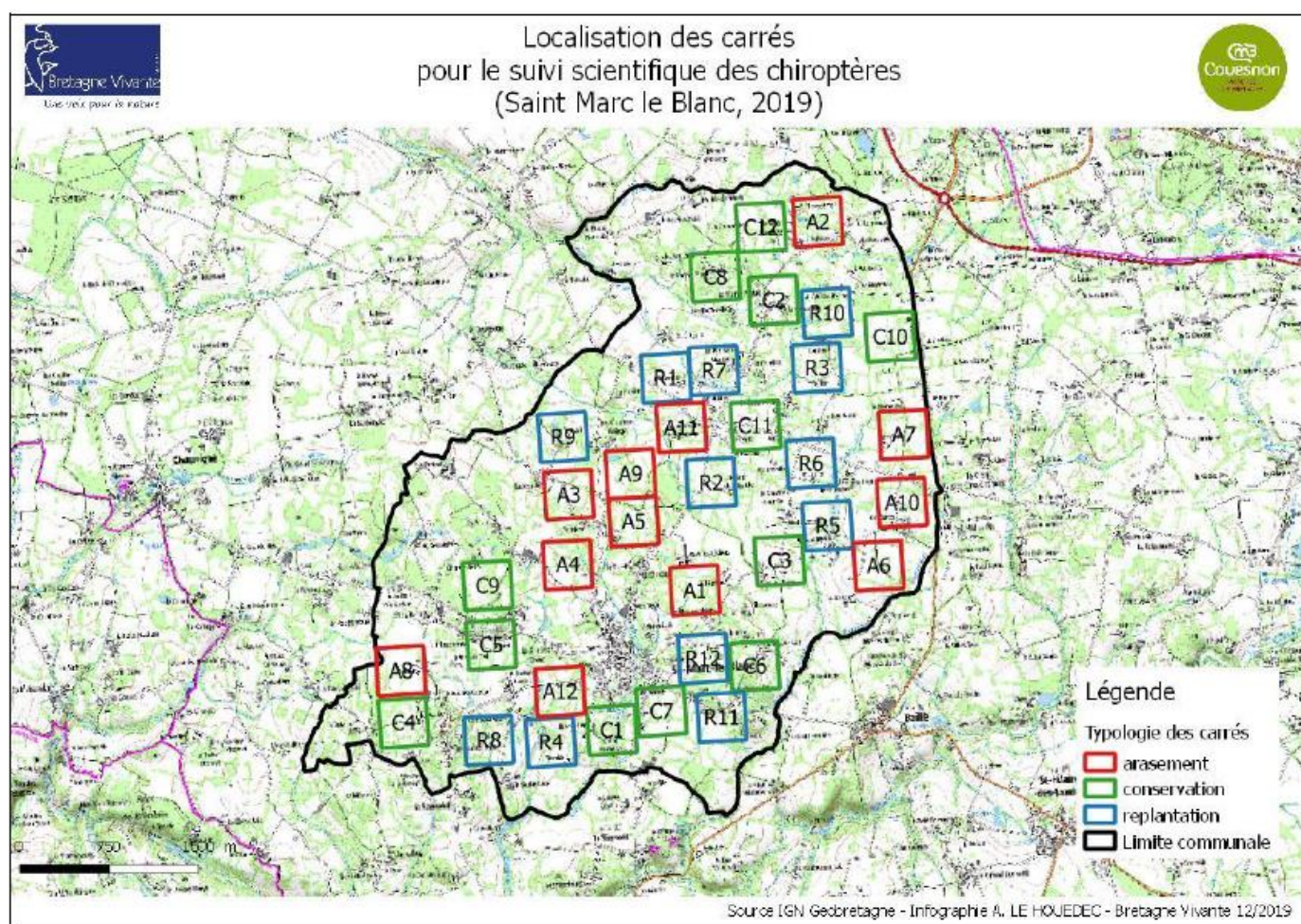


Figure 3 - Localisation des carrés d'échantillonnage et typologie (source : A. Le Houdec - Bretagne Vivante)

- 10 sites arasés : qui comportent une plus forte proportion de haies arasées, qui sont donc perturbés davantage que les deux autres types.

Le protocole de base repose sur une alternance des sites échantillonnés, pour un type de secteur par exemple la 1^{ère} année 5 sites seront échantillonnés, la 2^{ème} année les cinq autres, et la 3^{ème} on recommence sur les 5 premiers sites, ainsi de suite. Il a été choisi d'alterner sur deux ans dans l'objectif de couvrir au maximum le territoire, de limiter les besoins matériels, et de se détacher d'effets très locaux. Mais certaines années, pour diverses raisons (par exemple des coupes imprévues de haies), les carrés « prévus » ne peuvent pas être échantillonnés. Deux carrés en plus pour chaque type de secteur ont été définis pour pallier ces imprévus, l'alternance des carrés échantillonnés n'est ainsi pas parfaitement régulière. Chaque année, l'ordre d'échantillonnage des carrés est défini aléatoirement (cf. Annexe 2).

D'après le protocole 3 nuits consécutives d'enregistrement sont réalisées sous conditions météorologiques favorables à l'activité (absence de pluie, vent nul à faible). On dispose de 6 enregistreurs SM2Bat+, ils sont installés lors de 5 séries de 3 nuits d'enregistrements, réparties entre la dernière semaine de juillet et la première de septembre. Lors de chaque série 3 sites seront échantillonnés, en effet les enregistreurs sont posés par deux, espacés de 40 mètres sur chaque site (réplica spatial). Les enregistreurs sont posés sur les mêmes haies pérennes chaque année, afin d'étudier les variations d'activité en fonction des modifications de proximité, et d'éviter de rajouter de la variabilité supplémentaire d'année en année.

La première année (2014), l'échantillonnage n'a pas été effectué de cette manière, à cause d'une autre interprétation du protocole. Il a porté sur 5 haies (différentes) dans 2 sites maintenus, 2 replantés et 4 arasés.

Les enregistrements de l'année 2014 n'ont pu être réalisés que sur la fenêtre août/septembre, cette période paraît assez tardive dans l'été, mais il est nécessaire de synchroniser les enregistrements sur toute la durée du suivi, l'activité des chiroptères est en effet variable suivant les saisons (par exemple les jeunes commencent en général à voler en août, (Arthur et Lemaire, 2015)).

Plusieurs paramètres de structure des haies ont aussi été relevés visuellement chaque année (par exemple Largeur du houppier, Epaisseur de la haie à la base, Composition en essences de la haie (nombre d'espèces), nombre de trouées de plus de 40 mètres,...).

L'« **activité** » (Barataud, 2012) est le nombre de contact de chiroptères par « pas de temps » de 5 secondes et par groupe acoustique de chiroptères. Ces derniers peuvent contenir plusieurs espèces qui utilisent des signaux aux caractéristiques proches, cette indication suffirait (d'après la Convention de partenariat, 2014) à répondre à la question posée de la fonctionnalité globale du bocage pour les chiroptères. Les groupes acoustiques, dans le cas de notre étude, sont : « Barbar » correspond à *Barbatella barbastellus*, la Barbastelle d'Europe ; « Plesp » au genre *Plecotus*

(oreillards) ; « ENVsp » aux genres *Eptesicus*, *Nyctalus*, *Vespertilio* (sérotones, noctules et vespertillons) ; « Rhisp » au genre *Rhinolophus* (rhinolophes) ; « Myosp » au genre *Myotis* (murins) ; « Pip50 » au genre *Pipistrellus* à hautes fréquences (Pipistrelle commune) ; et « Pip35 » au genre *Pipistrellus* à basses fréquences (Pipistrelle de Kuhl et de Nathusius).

La **détection acoustique passive** a été utilisée plutôt qu'une autre méthode, car elle est la seule qui permet de récolter autant de données sur de nombreuses années, la détection et l'analyse d'ultrasons est la méthode la plus efficace pour étudier l'activité des chauves-souris (Flaquer et al., 2007), donc pertinente pour ce type de suivi.

2.2.2) Protocole 2 : Suivi du peuplement chiroptérologique de « réservoirs de biodiversité »

Ces espaces de biodiversité sont 3 sites (nommés CR, RB et VA) dont deux sont situés dans la ZNIEFF « Le Rocher Bigot et la Vairie », et un dans le boisement du Champ Robert. Ce sont des zones en milieu boisés, qui n'ont pas été modifiées par l'aménagement foncier, et dont l'existence est pérenne. L'objectif de ce protocole est de recueillir des éléments qualitatifs (diversité des espèces, sexe, âge, preuve de reproduction) en complément du précédent protocole. Pour cela sont réalisés : une série par an de trois nuits d'enregistrements avec 1 binôme d'enregistreurs SM2BAT+ sur chaque espace de biodiversité, 2 nuits de captures chaque année pendant la période d'étude. Enfin est réalisé un comptage et recherches de colonies (Petit rhinolophe déjà en cours...) à raison de 2 jours chaque année. Une banque de donnée partielle est déjà constituée, le maintien de ce suivi est donc un éventuel bon indicateur de l'évolution des populations de chiroptères à St Marc le Blanc (Convention de Partenariat entre Coglais Communauté et Bretagne Vivante, 2014).

2.2.3) Matériel utilisé et réglages

Sur chaque enregistreur SM2BAT+ est branché un microphone déporté SMX-US (constructeur Wildlife Acoustics). Ce microphone est omnidirectionnel (volume de détectabilité à peu près sphérique), il est fixé entre 1,5 et 2 mètres de hauteur à un angle de 90° par rapport aux haies échantillonnées. Les enregistreurs sont préalablement paramétrés sur 36 décibels (paramétrage utilisé avec ce modèle de micro, ce gain sonore est suffisant pour garantir une bonne détection sans souffrir des problèmes de saturation ou de destruction des signaux), et un taux d'échantillonnage de 192000 Hertz. Ils permettent ainsi d'enregistrer tous les sons sur une bande de fréquence de 1 kHz à 192 kHz en format compressé .wac. Ils se déclenchent 30 minutes avant le coucher de soleil et jusqu'à 30 mins après lever du soleil (et créent des fichiers de 30 minutes), afin de se focaliser sur les périodes de maximum d'activité des chiroptères (Godineau et Pain, 2007).



Figure 4 - Enregistreur SM2BAT+ avec son boîtier visant à le protéger du vol ou de la détérioration

2.2.4) Traitement des enregistrements avec Sonochiro

Les enregistrements sont traités avec le logiciel Wac2wav pour convertir les fichiers sons en format .wav, utilisé pour le tri automatique par le logiciel Sonochiro® (Biotope). Sonochiro restitue un tableur Excel avec le groupe d'espèces et l'espèce attribués aux enregistrements ainsi qu'un indice de confiance pour chaque identification (Igp). Le taux d'erreur d'identification par Sonochiro se trouve entre 1% pour les groupes faciles (Rhinolophes) et 30% pour les difficiles (Murins)(Barataud, 2012). Pour ce suivi, les analyses sont réalisées au niveau du groupe d'espèces sur les contacts dont l'Igp était supérieur au seuil d'identification correcte préalablement défini par T.Dubos (comm. pers., compétences reconnues dans ce domaine), après analyse « manuelle » de plusieurs centaines de séquences à l'aide du logiciel Batsound. Les résultats ne sont donc pas contrôlés manuellement pour plusieurs raisons : le nombre très important de données et le temps imparti ne permet pas l'analyse manuelle, les indices de T.Dubos sont couramment utilisés en Bretagne pour l'analyse acoustique, notamment dans le cadre de l'Observatoire des Mammifères de Bretagne, et dans d'autres études.

2.3) Traitement des données sonores, analyse

2.3.1) Mise en forme des données

Le tableau de données brutes de contacts se compose, pour une année et une date d'enregistrement, de lignes correspondant à la zone échantillonnée (et à un des deux réplicas) et à un pas de temps de 5 secondes pendant lequel il y a eu un ou plusieurs contacts. Plusieurs lignes correspondent donc à une même zone à une même date. Pour chaque pas de 5 secondes pendant lequel des contacts sont enregistrés, on a aussi le groupe d'espèces déterminé par le logiciel SonoChiro, et l'indice de fiabilité correspondant. Après le tri grâce aux indices de fiabilité de Dubos (cf. Annexe 1), on passe de 673607 lignes au tableau à 413754 lignes, soit de 14403626 contacts à 10930604. On décide ainsi de mettre de côté environ un quart des données de nombres de contact récoltées, considérées comme non exploitables dans le cadre de notre analyse.

Dans le but de parvenir à un tableau exploitable pour les analyses statistiques, le tableau brut a été manipulé afin d'obtenir en colonnes les nombres de contacts par groupe acoustique. On décide ensuite de réaliser des moyennes horaires, pour n'avoir, par année, qu'une valeur d'activité moyenne par carré et par groupe. En effet, certains réplicats n'ont fonctionné, certaines nuits, qu'une partie de la nuit; d'autres n'ont pas du tout fonctionné, mais ce cas là reste rare (cf. Annexe 2) et ne concerne qu'environ 8% des carrés (pourcentage calculé entre 2015 et 2019 sur les carrés de type A,R et C).

Concernant les paramètres de structure des haies, estimés visuellement, ils ne varient pas de manière marquée au cours des six ans. On obtient donc en tout une valeur par carré et par paramètre, ce qui ne nous permettra pas d'étudier une dynamique temporelle, ni de relier directement les évolutions d'activité des chiroptères à une évolution paysagère.

2.3.2) Traitement statistique par analyses multivariées

a) *Etude de l'évolution globale de l'activité moyenne des groupes de chiroptères – Approche temporelle et par grands types de modifications du paysage (A,R,C)*

Les analyses sont réalisées avec le logiciel R-3.6.1. Des graphiques d'évolution sont d'abord réalisés afin de pouvoir observer si on a des tendances générales par groupe d'espèces. Les fortes disparités numériques entre colonnes nous conduisent à utiliser la fonction $\log_{10}()$ (logarithme de 1+nombre). L'objectif ici n'est pas de comparer les groupes acoustiques entre eux, en effet ils ne sont pas vraiment comparables car leurs signaux ont des portées et des récurrences différentes.

Ensuite, des **Analyses en Composantes Principales** (ACP) et **Analyse factorielle des Correspondances** (AFC) {package ade4} (dans lesquelles on ne réduit pas la variance) vont permettre de hiérarchiser et synthétiser l'information contenue dans le jeu de données global, et de ne se focaliser que sur l'effet « type de carrés » ou que sur l'effet « année » en matérialisant les « centres de gravité » des groupes liés aux types et aux années. Enfin, on effectue des **tests de permutations** `randtest(bca)` {ade4} (Doledec et Chessel, 1987 ; Jacquet et Prodon, 2014), afin de connaître l'effet statistiquement significatif ou non (donné par la p-value) des variables type de carrés et années sur la distribution des relevés d'activité (significativité des pourcentages d'inertie entre les groupes « type » et « année »).

On réalise séparément un graphique de l'évolution globale de l'activité sur le jeu de données correspondant aux relevés dans le cadre du protocole « réservoirs de biodiversité », et une Analyse Factorielle des Correspondances (on ne peut pas les inclure dans la même analyse car les protocoles et type de milieu sont différents, mais cette analyse pourra nous être utile dans l'interprétation).

Afin de compléter cette analyse, les **indices de Shannon H'** {package vegan} ont été calculés, pour chaque carré chaque année, afin d'évaluer la diversité d'activité des groupes d'espèces, selon la formule (Indice de Shannon et Weaver, 1949) :

$H' = - \sum_i p_i \ln(p_i)$ avec p_i le rapport entre N_i = l'activité (moyenne) du groupe d'espèces i et N = l'activité moyenne totale, $\ln$ le logarithme népérien. H' approchera 0 lorsque les contacts enregistrés sur un carré proviennent en majorité de peu de groupes d'espèces. Quand les 7 groupes d'espèces présentent des activités équivalentes $H' = \ln(7) = 1,94$ (diversité maximale dans notre cas). Pour savoir si cette diversité chaque année dépend statistiquement du type A,R ou C, on effectue des tests d'**ANOVA** (analyse de variance à 1 facteur, le facteur étant le type de carré, on a vérifié par ailleurs les conditions d'application de cette méthode paramétrique, c'est à dire l'indépendance des réponses observées, la normalité des résidus, et l'homogénéité de leur dispersion).

b) *Analyse spatiale de la structure des haies, en lien avec le type de modifications du paysage*

Le tableau contient des variables quantitatives (Largeur du houpier en mètres (m), Epaisseur (en m) à la base, nombre de trouées ≥ 40 m, linéaire trouées total (en m), nombre de connexions à cette haie, strate arborescente (% de recouvrement au sol), strate arbustive), et qualitatives (présence arbres creux, présence talus, haie continue ou discontinue au niveau arbustif, présence arbres morts sur pied au sol ou souche). Ces paramètres de structure sont relevés sur la haie (conservée) sur laquelle sont

posés les enregistreurs chaque année. L'analyse de Hill et Smith permet de faire en même temps l'ACP normée des variables quantitatives et l'ACM des qualitatives (Hill et Smith, 1976). Puis on effectue des tests de permutation comme au-dessus.

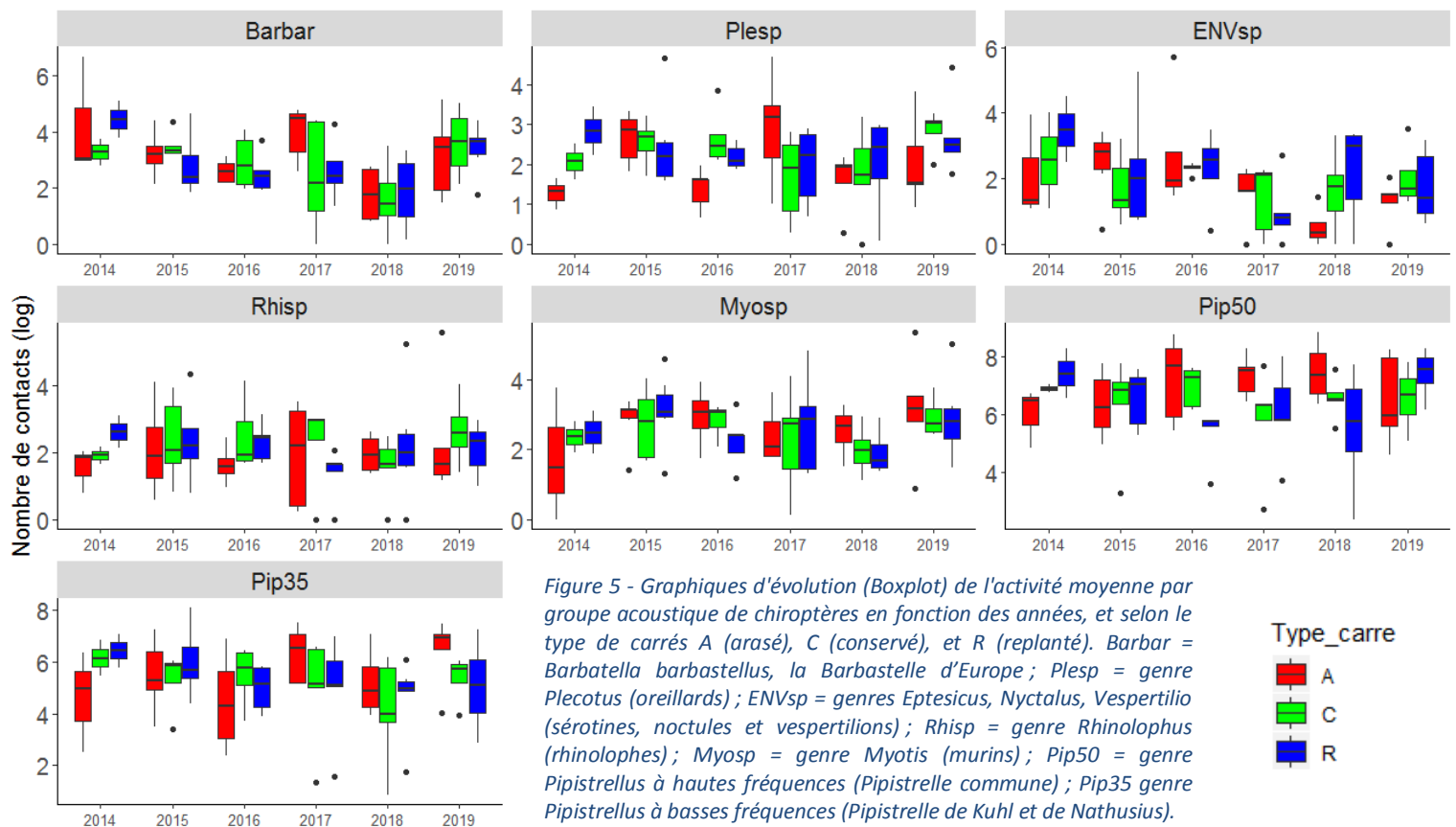
III. Résultats

3.1) Evolution de l'activité moyenne des groupes de chiroptères – Approche temporelle et par grands types de modifications du paysage (A,R,C)

On considère, sur la période de 2014 à 2019, 10 930 604 contacts provenant de l'ensemble des groupes acoustiques. La plupart (environ 73%) proviennent du groupe Pip50 (pipistrelle commune), environ 20% du groupe Pip35, et très peu proviennent du groupe des rhinolophes : 0.8 % et des oreillards 0.7 %. Les groupes des barbastelles, sérotines/noctules, et murins représentent respectivement environ 2.1 ; 1.5 et 1.3% des contacts. Les enregistreurs ont fonctionné 210 fois pour un total de 104 nuits d'enregistrement.

3.1.1) Evolution de l'activité moyenne en fonction des années pour chacun des groupes acoustiques

Il est important de noter que les échelles des axes des ordonnées de la figure 5 varient suivant les groupes acoustiques. Tout d'abord, on observe qu'il n'est pas facile de remarquer une tendance générale d'évolution en fonction des années, quel que soit le groupe ou le type de carré. L'activité du groupe des Barbastelles (Barbar) semble diminuer de 2014 à 2018 quel que soit le type, mais la dispersion des valeurs (variance) reste importante, surtout en 2017 et 2018. Leur activité semble ensuite augmenter en 2019 dans les carrés de type conservé et replanté. Concernant les oreillards (Plesp) l'activité dans les carrés conservés ne semble pas varier significativement, dans les carrés arasés et replantés elle semble diminuer une année sur deux, mais cela est moins marqué pour le type



replanté, et la variance reste importante. L'activité du groupe ENVsp s'avère diminuer dans les carrés arasés jusqu'en 2017, puis réaugmenter en 2019 ; dans les carrés conservés et replantés, elle semble diminuer légèrement entre 2014 et 2015, puis se stabiliser de 2016 à 2019. Les graphiques qui concernent les Pipistrelles (Pip50 et Pip35) et les Rhinolophes (Rhis) indiquent que leurs activités semblent peu varier suivant le type de carrés ou l'année, même si on observe quand même une activité très variable au sein d'une même année selon les carrés, surtout pour les carrés de type arasés. Pour le groupe des murins (Myosp), l'activité semble augmenter en 2015 par rapport à 2014, puis rester assez stable.

Il est difficile de visualiser si les différences d'activité sont surtout liées au type de carrés ou aux années. Globalement, l'activité dans les carrés conservés ne semblent pas supérieures à celles dans les carrés arasés et replantés, les activités semblent davantage liées aux années. Nous allons traiter et tester cela grâce à une analyse multivariée.

3.1.2) Influence du type de carrés et de l'année sur l'activité moyenne des chiroptères

On a représenté en figure 6a la géométrie de 7 variables « groupes d'espèces » dans l'espace à 85 dimensions. L'inertie de cette ACP est expliquée à 71,4% par les dimensions 1, 2 et 3 ; et à 58,8% par les deux premiers axes, on choisit ici de ne garder que ces 2 premières composantes (en sachant que toutes les différences ne seront pas expliquées par ces deux axes). Les variables Pip50 et Pip35 expliquent bien l'axe 1, elles sont fortement corrélées, ainsi que la variable Barbar dans une moindre mesure. En allant vers la gauche du graphique, on se dirige vers des activités moyennes élevées de Pip50 et Pip35 surtout, puis de Barbar et des autres groupes. Tous les types présentent des activités faibles et fortes de chiroptères.

Ce résultat (figure 6b) est peu discriminant, il semble qu'on ne puisse pas expliquer les différences d'activités des chiroptères par les types de carrés, mais peut être davantage par les années (figure 6c). Toutes les années contiennent des activités faibles et fortes de chiroptères, mais 2018 et 2017 possèdent des ellipses plus étendues sur la droite qui correspondent à une plus faible activité.

Au vu des résultats des tests de permutation (cf Annexe 3), les variables d'activité de chaque groupe de chiroptères ne permettent pas de mettre en évidence une différence d'activité entre les types d'aménagement ($p\text{-value} = 0,854$). L'effet "année" est lui par contre significatif ($p\text{-value} = 0,033 < 0,05$, on peut donc se permettre de rejeter l'hypothèse nulle qu'il n'existe aucune corrélation entre l'activité et l'année), mais seulement 9.9% de la variance est expliquée ($R\text{-squared} = 0,099$). Les différences d'activité semblent donc davantage liées aux années. On refait les graphiques d'évolution par groupe, mais sans séparer les types de carrés (cf Annexe 4), on se rend compte que pour les groupes Barbar et ENVsp l'activité moyenne semble diminuer jusqu'en 2018 (ce qu'on voyait aussi sur la figure 5). Au sein du groupe Myosp, l'activité semble aussi amoindrie en 2018.

L'Analyse Factorielle des Correspondances (cf Annexe 5 et 6) est également peu discriminante et permet de mettre en avant les mêmes choses que l'ACP.

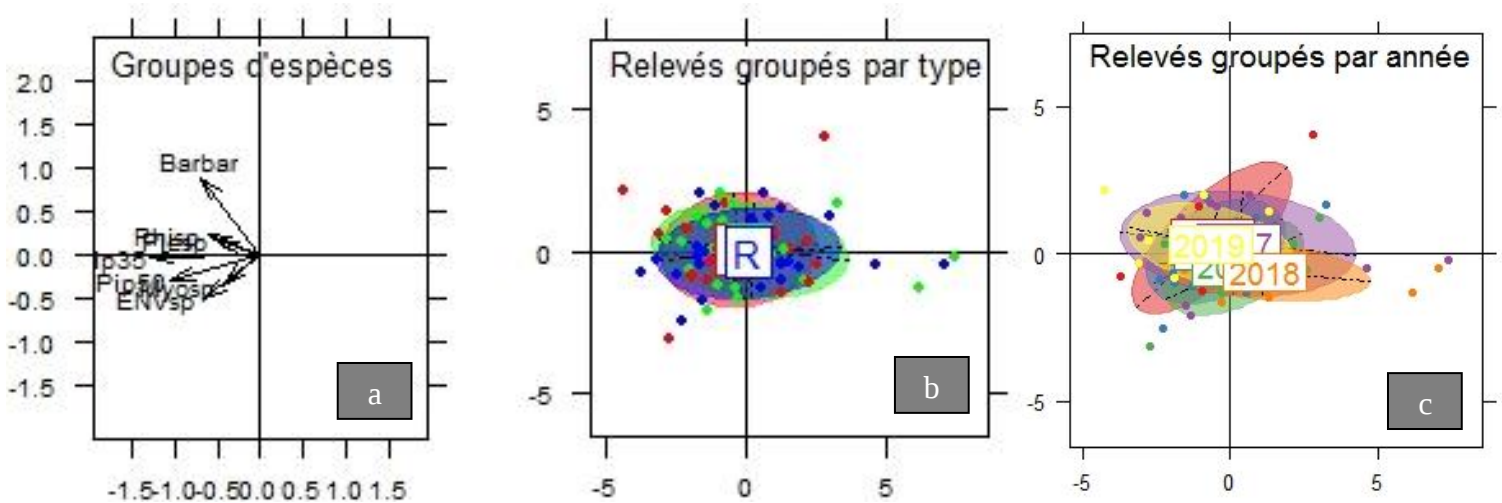


Figure 6 (a,b et c) - Représentations graphiques de l'Analyse en Composantes Principales (selon les axes 1 et 2) des activités moyennes des groupes de chiroptères de 2014 à 2019. Sur la figure b, le type A en rouge correspond à Arasé, C en vert à Conservé et R en bleu à Replanté. Sur la figure c, l'année 2014 est en rouge et l'année 2015 en bleu.

Graphiquement l'activité moyenne par groupe de chiroptères dans les « **réservoirs de biodiversité** » ne semble pas changer suivant les années (cf Annexe 7). Le résultat du test de permutation sur les groupes « années » associé à l'AFC est en effet non significatif (cf Annexe 8).

3.1.3) Etude de la diversité de l'activité

L'analyse de la diversité de Shannon sur l'activité donne les résultats graphiques présentés en figure 7. La diversité de l'activité en fonction des carrés en 2014, 2015, 2017 reste dans une même gamme de valeur comprise entre 0,39 (en 2017), et 1,61 en 2015, valeur encore assez éloignée du 1,94 correspondant à la diversité maximale H' dans notre cas. En 2019, la diversité descend jusqu'à 0,25 dans le carré R4. Les diversités les plus faibles sont observés en 2016 et 2018 avec respectivement 0,12 en A4 et 0,08 en C10.

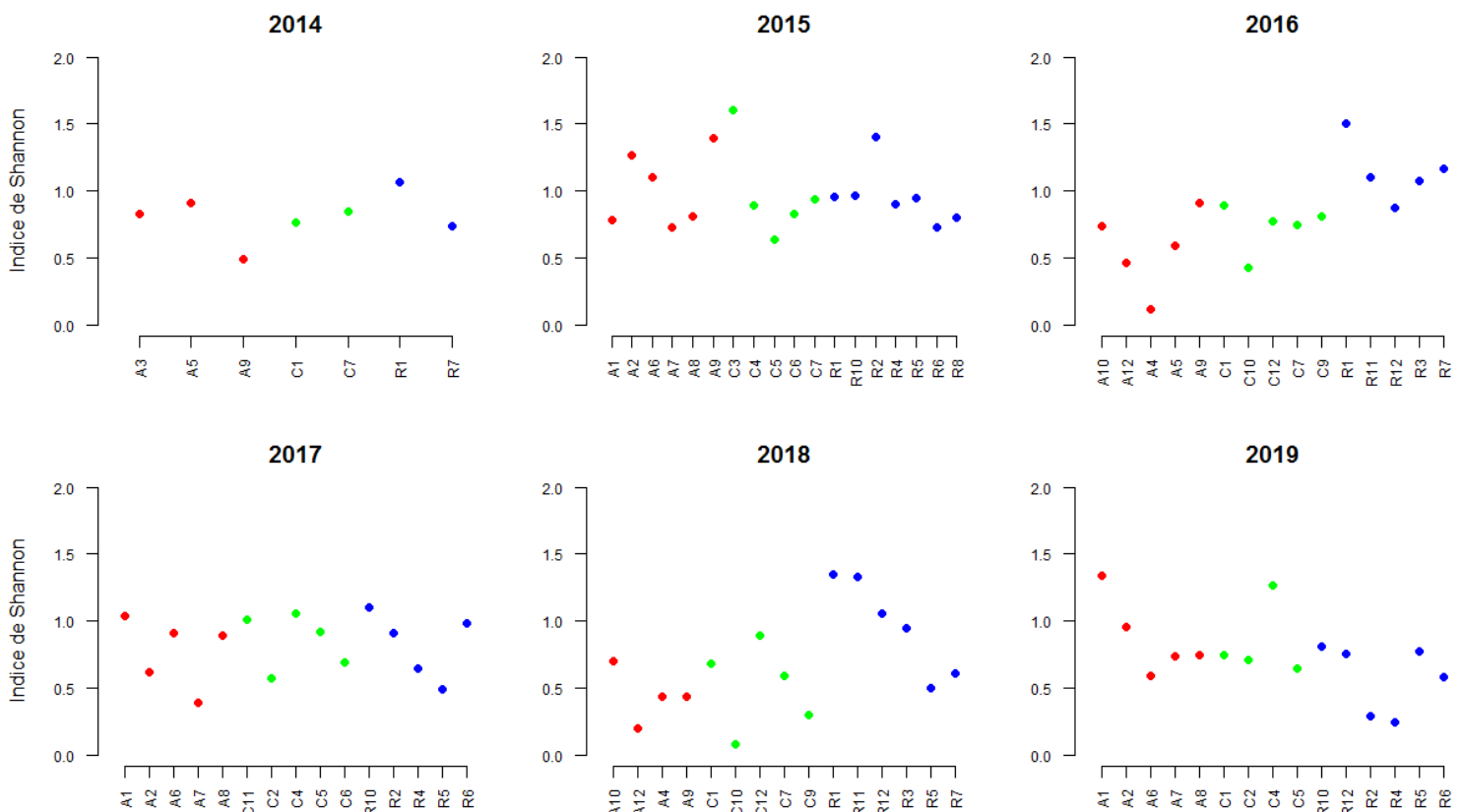
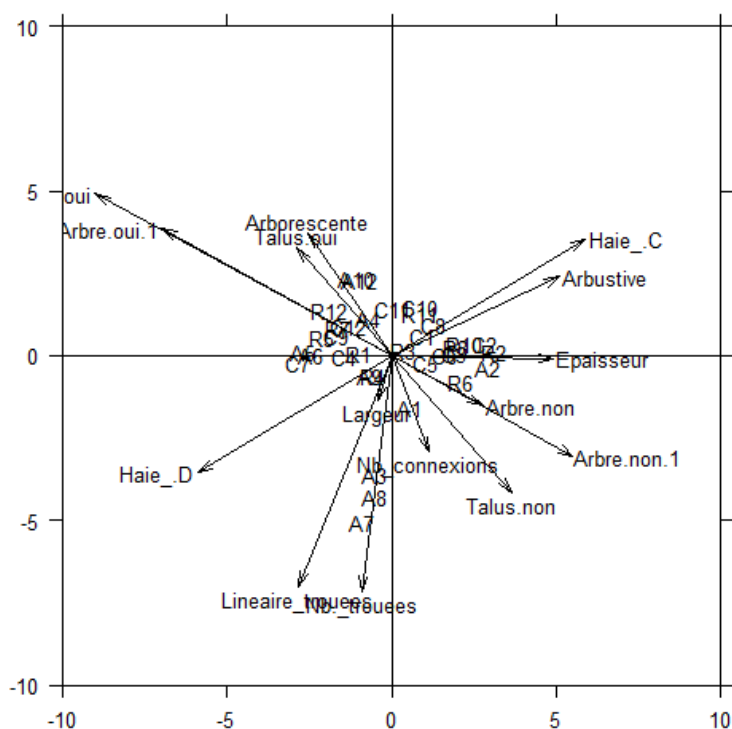


Figure 7 - Indices de diversité de Shannon pour chacun des carrés échantillonnés chaque année.

Les tests d'ANOVA sur les années 2014, 2015, 2017 et 2019 ne sont pas significatifs. Les tests concernant les années 2016 et 2018 sont significatifs (cf Annexe 9, respectivement p-value = 0.007254 et p-value = 0.0382). Ils indiquent, plus précisément (fonction summary), qu'en 2016 et 2018 les différences de diversité de l'activité entre les types A (et C) et R sont significatives et non dues au hasard. En 2016 et 2018, donc, la diversité de l'activité moyenne des chiroptères est plus faible dans les carrés de type A et C que dans les carrés de type R.

3.2) Analyse spatiale de la structure des haies



Les 3 premiers axes cumulent 62.25% de la variance totale du tableau. On a représenté grâce à la fonction scatter (figure 8) les résultats (superposition des variables et des carrés) de l'analyse de Hill et Smith selon les axes 1 et 2.

Les variables qualitatives semblent séparer nettement les relevés. On trouvera en Annexe 11 les coefficients de corrélation entre chacune des 11 variables de structure et les axes 1, 2 et 3. On a détaillé en Annexe 12 les résultats pour les variables quantitatives d'un côté, qualitatives de l'autre.

Figure 8 - Représentations de l'analyse de Hill et Smith selon les axes 1 et 2.

Tout cela nous indique, en complément de la figure 8, que les arbres creux, les haies continues ou discontinues et les arbres morts permettent la construction de l'axe 1, ainsi que la strate arbustive et l'épaisseur. Le nombre de trouées et le linéaire de trouées sont liés à l'axe 2, tandis ce que la largeur et la strate arbustive expliquent bien l'axe 3, ainsi que les variables nombre de connexions et strate arborescente. Les carrés de tous types semblent se mélanger, les carrés A3, A8, A7 et A1 (dans une moindre mesure) semblent se distinguer par un nombre de trouées (au niveau arborescent, de taille supérieure ou égale à 40m) et un linéaire de trouées plus importants. Les carrés R2, A2 et C2 pourraient posséder des haies continues, une épaisseur à la base et une strate arbustive importantes, mais peu d'arbres morts et d'arbres creux. C7, A6 et A5 semblent posséder des caractéristiques opposées à R2, A2 et C2.

Graphiquement (figure 9) les types A, R et C ne discriminent pas bien les relevés, que ce soit suivant les axes 1 et 2, ou 2 et 3. Le test de permutation n'est en effet pas significatif (cf Annexe 13).

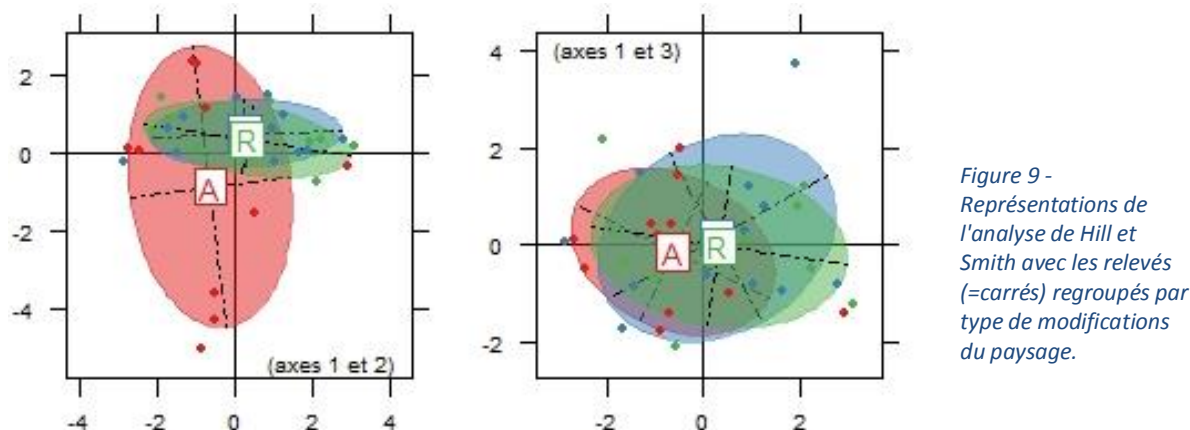


Figure 9 -
Représentations de
l'analyse de Hill et
Smith avec les relevés
(=carrés) regroupés par
type de modifications
du paysage.

IV. Discussion

L'aménagement foncier réalisé sur la commune de Saint Marc Le Blanc en Ille et Vilaine a conduit à des travaux sur le réseau bocager, avec notamment l'arasement, la conservation et la replantation de haies. Dans cette étude, nous cherchions tout d'abord à mettre en évidence l'existence éventuelle de changements d'activité de plusieurs groupes acoustiques de chiroptères suivant les années et les grands types de modification du paysage : carrés « arasés », « replantés » et « conservés » ; puis à étudier les paramètres de structures des haies relevés sur chacun des carrés d'échantillonnage.

Il semble légitime de penser que les travaux sur les haies induisent une perturbation sur les chiroptères, de nombreuses études à ce sujet ont déjà été réalisées (Godineau et Pain, 2007 ; Berthe, 2010). On cherche ici à caractériser cette perturbation, qui peut avoir différentes intensités et des effets à différents niveaux, par exemple des changements de routes de vol sans baisse d'activité très marquée, mais on peut aller jusqu'à des régressions d'effectifs de population causées par un paysage trop fragmenté avec trop peu de structures linéaires de déplacements et de terrains de chasse. Ce suivi est intéressant car réalisé à une échelle très locale et sur un nombre d'années important (10 ans, jusqu'en 2023).

Sur le Coglais, 18 espèces sont représentées (sur les 34 présentes en France). Le genre *Barbastella* est représenté par la Barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*) [groupe Barbar], le genre *Plecotus* par les oreillers roux et gris (*Plecotus auritus*, *Plecotus austriacus*) [groupe Plesp], le genre *Nyctalus* par la noctule commune (*Nyctalus noctula*) et la Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*) et le genre *Eptesicus* par la sérotine commune (*Eptesicus serotinus*) [groupe ENVsp], le genre *Rhinolophus* par les grand et petit rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*, *Rhinolophus hipposideros*) [groupe Rhisp], le genre *Myotis* par le grand murin et les murins de Natterer, à oreilles échancrées, d'Alcathoe, à moustaches, de Bechstein et de Daubenton (*Myotis myotis*, *Myotis nattereri*, *Myotis emarginatus*, *Myotis alcathoe*, *Myotis mystacinus*, *Myotis bechsteinii*, *Myotis daubentonii*) [groupe Myosp], et enfin le genre *Pipistrellus* par les Pipistrelles commune (*Pipistrellus pipistrellus*) [groupe Pip50], de Kuhl et de Nathusius (*Pipistrellus kuhlii*, *Pipistrellus nathusii*) [groupe Pip35].

Premièrement, on constate graphiquement une tendance à la régression pour la Barbastelle d'Europe jusqu'en 2018 (figure 5 et annexe 4), l'évolution de l'activité de cette espèce à l'échelle régionale comme nationale est peu connue. On constate aussi une tendance à la baisse de l'activité de manière moins marquée pour le groupe des Sérotines et Noctule jusqu'en 2017, l'activité semble ensuite se

stabiliser. Cela correspond bien aux résultats de l'Observatoire des mammifères de Bretagne (OMB) qui observe une probable régression de la Sérotine commune depuis 2010 en Bretagne. A l'échelle de l'hexagone, la Sérotine commune et la Noctule commune affichent des déclin préoccupants de leurs activités, sans variation géographique significative (Vigie-Chiro).

Les différences d'activité observées sont essentiellement liées aux années. Les analyses multivariées (figure 6 et annexe 5), et les tests de permutation associés nous ont montré que l'effet « année » est significatif avec 9,9% des différences d'activités entre relevés (= points carrés-années) expliquées. La figure 6c nous montrant que les années 2017 et surtout 2018 correspondent à des activités plus faibles de chiroptères, on peut penser que cette baisse d'activité concerne en majeure partie les barbastelles (figure 6a), et les sérotines et noctules (annexe 5).

Davantage de murins ont été enregistrés en 2015 qu'en 2014 (annexe 4, comme observé dans l'étude réalisée en 2017 (Viard, 2017)), mais on n'observe pas de variations au cours des années suivantes. En 2016, l'OMB montre que les populations de murins à oreilles échancrées et de grands murins sont en progression, tandis que celles de murins de Daubenton et de murins à moustaches seraient en déclin. On peut imaginer que cela crée un équilibre dans l'activité du groupe Myosp qui a tendance à stagner, mais on ne peut pas en dire plus sans avoir accès à l'espèce, il serait intéressant de connaître les espèces du genre *Myotis* contactées en majorité lors de ce suivi. L'OMB observe depuis 2000 un accroissement des populations de grands et petits rhinolophes en Bretagne (Dubos et al., 2016), nous ne l'observons pas à cette échelle locale. L'activité des Pipistrelles communes ne semble pas varier au cours des six années d'étude, l'OMB constate qu'en Bretagne l'activité de cette espèce semble être relativement stable. Concernant les pipistrelles de Kuhl et les pipistrelles de Nathusius, nous ne constatons pas non plus de changements marqués de leurs activités (figure 5 et annexe 4). L'activité des oreillards semble ne pas changer de manière significative au cours des 6 ans.

L'activité moyenne des groupes de chiroptères dans les « réservoirs de biodiversité » (protocole 2) ne change pas au long des six années d'étude. On remarque notamment que les activités des barbastelles et du groupe ENVsp ne diminuent pas en 2018, l'activité des myotis reste également constante. Ces zones, habitats boisés et non modifiés par l'aménagement foncier, pourraient être des zones refuges et un terrain de chasse préférentiel pour la plupart des espèces. L'activité dans ces zones reste constante pour les différents groupes de chiroptères, et pour la plupart des groupes (sauf Barbar et ENVsp) l'activité ne change pas non plus de manière marquée au fil des années dans les carrés A,R,C, on peut penser que les réservoirs de biodiversité permettent d'entretenir un cortège et une biodiversité intéressante, c'est à dire que malgré les perturbations paysagères causées par l'aménagement foncier, le bocage resterait fonctionnel dans son rôle de lien entre réservoirs de biodiversité, mais cela reste une hypothèse. Il est délicat de comparer les nombres de contacts enregistrés dans les « réservoirs de biodiversité » et les carrés A ,R,C. En effet, le nombre de carrés comparé chaque année est très différent, de plus les enregistrements sont issus de protocoles différents dans des milieux différents, on retient ainsi principalement des tendances stables de l'activité moyenne des différents groupes dans les réservoirs de biodiversité.

Les différences et variations d'activité des chiroptères entre carrés relevés chaque année ne sont pas expliqués par le type d'aménagement « arasé », « replanté » ou « conservé » (figure 6b et annexe 3 : effet « type » non significatif). La diversité de Shannon reflète une richesse de cris, provenant donc de différents groupes acoustiques, combinée à une répartition de l'activité au sein des groupes. Son étude (figure 7 et annexe 9) nous révèle que les années 2018 et 2016 présentent un effet « type » significatif, la diversité de l'activité dans les types arasé et conservé est plus faible que dans le type replanté (d'autant plus que ce sont les mêmes carrés qui sont échantillonnés ces deux années, sauf A5 en 2016 et R5 en 2018). Cela est intéressant car vient compléter l'étude de l'activité globale, ces deux années là présentent une répartition plus équitable de l'activité des groupes dans les carrés replantés, cela pourrait nous révéler une bonne fonctionnalité des haies replantées dans ces carrés là (R1,R11,R12,R3 et R7). Des haies replantées, observées en 2020 sur la commune, atteignent des hauteurs de deux mètres et semblent âgées d'entre 5 et 10 ans. Elles sont constituées de plusieurs essences (cornouiller, noisetier, charme, chêne, fusain), et sont déjà empruntées par des chiroptères (observation de A.Le Houédec, comm.pers.).

On aurait pu s'attendre à ce que les différences entre grands types de modifications du paysage soient davantage marquées, notamment que des sites peu modifiés présentent une activité plus élevée. Le peu de différences entre les types A,R et C peut s'expliquer de différentes manières.

Les carrés ont été placés selon le principe SIG de la fenêtre glissante, mais l'aménagement foncier a eu lieu sur toute la commune, et donc autour des sites étudiés il y a toute une mosaïque de haies conservées, arasées ou replantées, qui n'appartiennent à aucun carré. L'environnement proche ou un peu plus éloigné de chaque carré va avoir une influence sur sa fréquentation par les chiroptères. Ainsi, malgré qu'un carré soit classé « arasé » il peut être entouré d'un maillage de haies conservées que les chauves-souris continuent d'emprunter, au long de leur parcours elles peuvent donc toujours passer par la ou les haie(s) conservée(s) d'un carré arasé, ou bien reporter leur activité sur celle(s)-ci. Cette vision plus globale est aussi bien liée au fait que les chiroptères parcourent dans la nuit plusieurs kilomètres, par exemple le Grand murin peut aller jusqu'à 20 kilomètres de son gîte chaque nuit (comm.pers.), et de plus petites espèces comme le murin de Natterer vont au plus loin à en moyenne 4 kilomètres de leur gîte (Arthur et Lemaire, 2015). On note que la commune de Saint Marc Le Blanc fait dans sa plus grande longueur environ 6 kilomètres, les carrés faisant 577 mètres de côté.

De plus, l'appartenance au type A,C ou R de chaque carré a été définie grâce à une proportion de haies arasées, conservées ou replantées dans ce site, choix basé sur un taux de perturbation. Ainsi un carré conservé qui n'a que peu de haies (par exemple C3) aura une longueur totale de haies plus faible qu'un carré arasé dans lequel il y avait beaucoup de haies avant travaux et malgré l'arasement il en reste beaucoup (par exemple A4 et A7). De la variabilité est aussi présente au sein d'un même type de carrés.

D'après des personnes connaissant le territoire (comm.pers.), en parcourant la commune de Saint Marc Le Blanc on ne voit visuellement pas de grosses différences, le maillage bocager est peut être

moins dense (on peut l'observer en vue aérienne), mais on n'a pas l'impression de changements importants car le champ de vision rencontre toujours beaucoup de haies. C'est un territoire très bocager et qui semble le rester même après l'aménagement foncier (« Saint Marc le Blanc possède le bocage le mieux conservé dans le Coglais, avec 100 ml/ha en 2013 » (Le Dréan-Quénec'hdu S., 2013). Il serait intéressant de connaître le linéaire/hectares de haies exact après 2014, on n'a cependant pas pu ici avoir accès à cette information, le répertoriage précis des modifications du bocage étant fastidieux, et reste encore approximatif. Un nouvel inventaire exhaustif est en cours sur les communes de l'ancien EPCI de Antrain Communauté, et permettra d'avoir d'ici environ un an une idée plus précise de l'état du bocage sur le territoire de Couesnon Marches de Bretagne (D.Lahaye, chargé de mission Bocage Couesnon Marches de Bretagne, comm.pers.).

Selon les espèces, les chiroptères sont touchés davantage par le type d'agriculture et de produits phytosanitaires utilisés, que par les changements dans le paysage, en sachant que le territoire reste quand même bien bocager. Par exemple, les pesticides ont une grosse influence sur les petits rhinolophes notamment, leurs populations ont beaucoup régressé au XXème siècle entre autres à cause du DDT (Arthur et Lemaire, 2015).

L'étude de la structure des haies complète ces explications. Les variables de structure choisies ne permettent apparemment pas de mettre en évidence une différence de structure de haies entre les types de modifications du paysage (figure 9). On pouvait s'y attendre puisque ces paramètres de structure sont relevés sur la haie conservée sur laquelle sont posés les enregistreurs (et sur laquelle il peut y avoir report d'activité), et ne reflètent pas l'entière et l'hétérogénéité possible de chaque site. Les haies conservées de pose possèdent quand même des caractéristiques variables. Les variables permettant de construire les axes 1 et 2 de l'Analyse de Hill et Smith (figure 8) sont celles qui expliquent le plus les différences de structure entre les carrés et pourraient donc être les plus intéressantes à retenir pour de prochaines études (arbres creux, continuité des haies, arbres morts, strate arbustive et épaisseur à la base ; et nombre et linéaire de trouées). Pour ce suivi, il serait intéressant d'avoir accès à d'autres paramètres de structure comme la hauteur moyenne de la haie, le type de parcelles agricoles autour : l'utilisation de pesticides étant une des causes principales de régression des chauves-souris, par empoisonnement et par raréfaction des insectes proies (Institut de l'élevage, 2014), un champ de maïs est en effet moins favorable à l'entomofaune qu'une prairie ou un champ de luzerne, et sur la commune la culture de maïs est majoritaire. Le nombre de bâtiments ouverts aux chauves-souris serait aussi très intéressant à connaître. La fermeture hermétique des caves et les aménagements de combles et vieux bâtiments sont des menaces importantes pour de nombreuses espèces, comme les murins à oreilles échancrées, les grands murins, les petits et grands rhinolophes (Arthur et Lemaire, 2015).

On a pu observer des variations d'activité suivant les années. Ces résultats restent à prendre avec précaution. En effet, nous rappelons que nous avons utilisé 75% du jeu de données initial qui a été traité à l'aide d'indices de fiabilité. De plus, l'ACP (figure 6) n'a été étudiée que suivant les deux premiers axes ; et enfin, d'une année sur l'autre, ce ne sont pas les mêmes carrés qui sont

échantillonnés (et leur nombre peut varier), d'autres facteurs différenciant les relevés pourraient entrer en jeu :

- La **température nocturne** et l'**humidité** : sachant que les chiroptères sont capables de voler jusqu'à des températures fraîches de 5-6°C (Le Houedec, com.pers.), dans le cas de ce suivi en été les températures ne descendent pas en dessous de 5-6°C, on peut considérer que les chiroptères vont voler de toute façon. Cependant on ne sait pas à quel point leur activité peut être variable suivant un écart de température (par exemple période de canicule, ou pluie imprévue), et suivant la température de la journée précédente. Il aurait été intéressant, pour pouvoir prendre en compte l'effet température, de relever à chaque triplet de trois nuits d'enregistrements les températures dans chaque carré échantillonné. On ne peut à présent pas obtenir les températures depuis 2014 plus précisément qu'au niveau de la ville de Rennes, et on n'a donc pas les effets locaux.

- La **période août-septembre** : période d'activité variable, non stable. Ont lieu le sevrage et l'apprentissage des jeunes à la capture, les prospections des jeunes, le début des accouplements (Institut de l'Élevage, 2014) et de la migration (par exemple pour la Pipistrelle de Nathusius) avec décalage annuel possible. On ne peut ainsi pas savoir quelle est la part d'une réelle utilisation de l'habitat par les populations de la commune pour la chasse notamment, il y a du « bruit » en plus, qui peut influencer sur nos résultats. De plus Saint-Marc-Le-Blanc se trouve entre deux sites de swarming, sites de regroupement à grandes activités avec d'importants brassages d'individus d'espèces et origines différentes. En 2020 par exemple, la reproduction semble avoir commencé tôt, on a repéré des indices de reproduction dès début août chez plusieurs espèces lors de captures, notamment chez de grands murins, cette espèce utilise des sites de swarming (comm.pers.).

On peut citer aussi d'autres facteurs : durée de l'hiver, pollution lumineuse.

L'utilisation d'enregistrements acoustiques présente de grands avantages, mais aussi des limites :

- La **détection automatique** : une absence de signal ne signifie pas forcément une absence de chauve-souris, en effet quand un individu connaît son chemin, il n'émet pas d'ultrasons afin d'économiser de l'énergie. On peut considérer que pour chaque groupe d'espèces cet effet est stable et non dérangeant pour le suivi.

- L'utilisation de **groupes acoustiques**. Les espèces réunies dans ces groupes n'ont pas forcément une écologie similaire et pourrait répondre différemment aux modifications du paysage. Au sein du groupe des myotis par exemple, le grand murin chasse préférentiellement en sous bois dégagé, le murin à oreilles échancrées plutôt en sous-bois épais, et le murin de Daubenton au-dessus de points d'eau (Le Houédec, comm.pers.).

- L'utilisation du **nombre de contacts** : révèle le niveau d'activité des espèces, mais ne représente pas une abondance d'individus émetteurs. On pourrait avoir une activité qui augmente sur un carré ou l'ensemble des carrés, sans que cela veuille dire que les populations se portent bien, il pourrait y avoir moins d'individus mais une activité constante par report d'individus (changent leurs routes de vol par exemple pour emprunter la haie conservée des carrés arasés). L'activité acoustique n'est pas

une mesure de l'abondance absolue, mais, lorsqu'on a suffisamment de données, on peut s'en servir comme une mesure d'abondance relative.

Compléter ce protocole (mais cela demande un investissement supplémentaire) par l'étude de trajectoires de vol serait intéressant car donnerait davantage d'informations sur l'utilisation des haies replantées, sur des reports d'activité,... ; et par des suivis d'abondance locale de colonies (recherche et comptages de colonies estivales) de certaines espèces. La prise en compte un peu plus large des surfaces forestières autour de la commune complèterait l'étude, étant donné que certaines espèces chassent sur un rayon de dix kilomètres ou plus autour de leur gîte (grand murin, grand rhinolophe..).

Précisions à apporter au protocole

On peut remarquer plusieurs imprécisions au protocole, qu'il est intéressant de souligner en vue de préserver l'objectivité des mesures pour les années à venir, notamment dans le cas où d'autres opérateurs de terrain seraient impliqués pour poursuivre le suivi. Il est indiqué dans le protocole, inscrit dans la Convention de partenariat entre Coglais Communauté Marches de Bretagne et l'association Bretagne Vivante, que des paramètres environnementaux seront consignés chaque année (tels que la composition en essences, la stratification, l'exposition..), mais il n'est pas précisé comment relever ces paramètres, avec quel protocole, à quel moment. De même il est annoncé que les enregistrements auront lieu dans « des conditions météorologiques favorables à l'activité (absence de pluie, vent nul à faible) », il serait intéressant de préciser la vitesse limite utilisée. Enfin, spécifier quels réglages du matériel répéter chaque année serait important (réglages du gain sonore sur les SM2, du taux d'échantillonnage, capacité des cartes mémoires,..).

De plus il existe, lors d'enregistrements chiroptérologiques, un biais peu connu lié au matériel utilisé, notamment par rapport aux microphones. Ils sont basés sur un niveau de sensibilité, une valeur seuil est définie comme étant opérationnelle, mais l'usure des micros d'années en années (ils sont soumis aux aléas climatiques, aux transports..) induit des variations probables de leur niveau de sensibilité sans qu'on sache exactement à quel point cela impacte la détection.

V. Conclusion

Sur la base des traitements réalisés, les travaux connexes à l'aménagement foncier de la commune de Saint-Marc-Le-Blanc n'entraînent pas de modification importante (positive ou négative) de l'activité des chiroptères. Nous avons toutefois constaté des évolutions du nombre de contacts dans le temps, dont les causes restent hypothétiques compte-tenu des informations dont nous disposons.

Les modifications du bocage induisent forcément une perturbation pour les chiroptères, de nombreuses études attestent de l'importance des haies pour eux pour les structures linéaires qu'elles offrent pour les déplacements et l'alimentation. Ce lien induit la fidélité à ces structures pour plusieurs espèces, qui les empruntent avec régularité nuit après nuit (Arthur et Lemaire, 2015). La régression du bocage et des corridors écologiques est pour eux, comme pour d'autres animaux, une menace certaine. Ici, les modifications réalisées permettent de garder un paysage bien bocager, et qui semble permettre aux chiroptères de se maintenir. Des tendances à la régression pour certains

groupes, au regard des évolutions constatées aux échelles régionale et nationale, nous alertent quand même sur la nécessité d'être prudents. Le fait d'araser certaines haies conduit à la déconnection de certains corridors (on peut citer l'exemple des carrés A3 et R1) et à la fragmentation du paysage.

L'effort de replantation de haies semble porter ses fruits, on a en effet observé une diversité plus importante de l'activité des chiroptères sur certaines haies replantées, malgré leurs jeunes âges. Il est intéressant, lors de la replantation de haies, de privilégier des essences diversifiées et un peuplement mixte, qui attirera une grande diversité d'insectes. Les travaux effectués sur les haies peuvent aussi être une manière d'entretenir le bocage et de remédier à son vieillissement, qui pourrait entraîner des risques de déconnexions dans le maillage. De plus, les haies présentent des avantages certains pour l'usage humain : préservation de la qualité d'eau, protection des animaux et cultures contre le vent, lutte contre l'érosion des sols. Préserver les points d'eau, riches en insectes, est aussi favorable aux chauves-souris, ainsi que l'accès à de vieux bâtiments.

Par ailleurs, on a constaté l'absence de fluctuations, notamment de baisse, de l'activité de chaque groupe de chiroptères dans les « réservoirs » de biodiversité (trois zones boisées non touchées par l'aménagement foncier). Des espaces boisés ou forestiers préservés (avec le maintien d'arbres morts et vieillissants), en plus de structures linéaires de déplacement qui permettent aux chauves-souris d'accéder à ces espaces, sont indispensables à leur préservation. Elles y trouvent davantage de nourriture et des abris, et un espace non perturbé et donc plus favorable puisqu'elles n'auront pas à s'adapter et à dépenser de l'énergie supplémentaire, ou bien à se contenter de terrains de chasse plus accessibles, mais moins favorables pour leur alimentation (cela pourrait notamment nuire à leur taux de reproduction (Godineau et Pain, 2007)). La plasticité de la chasse dépend aussi des espèces, la Barbastelle d'Europe par exemple a un régime alimentaire très spécialisé, constitué à 90% de lépidoptères (Arthur et Lemaire, 2015). Cela pourrait expliquer la baisse constatée de son activité, elle est très sensible à la régression de ses proies favorites.

Un nombre plus important d'années d'étude sur la commune de Saint-Marc-Le-Blanc serait peut être nécessaire pour voir une évolution plus marquée, temporelle ou liée au type de modifications du bocage. Vigie-Chiro indique par exemple des tendances calculées sur des enregistrements collectés entre 2006 et 2019, sur 13 ans donc, et n'obtient pas encore de tendance robuste pour toutes les espèces. Le protocole est certes différent et à bien plus grande échelle, mais cela peut donner une idée du nombre d'années parfois nécessaire pour obtenir une robustesse dans les résultats. Dans le cadre de notre suivi, en 2023 certaines tendances d'évolution de l'activité observées pourraient s'affirmer, et être étudiées dans le cadre du prochain stage.

Bibliographie

- **Agreste Bretagne, 2015.** PDF disponible sur :

http://draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Presentation_generale_-_Ille-et-Vilaine_cle8a6a1f.pdf

- **Arthur L. & Lemaire M. 2015.** Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Collection Parthénopé, Biotopé éditions, 544p.
- **Barataud M. 2012.** Ecologie acoustique des Chiroptères d'Europe. Identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. Collection Inventaires & biodiversité, Biotopé éditions, 344p.
- **Berthe S. 2010.** Conséquences du remembrement et de la fragmentation des haies sur l'activité des Chiroptères du Coglais (35). Rapport de stage Master 2, Université La Rochelle, 56p.
- **Boyles J.G., Cryan P.M., McCracken G.F. et Kunz T.H., 2011.** Economic Importance of Bats in Agriculture. *Science*, Vol.332 n°6025 : 41-42.
- **Burel F., 1991.** Dynamique d'un paysage: réseaux et flux biologiques. Editions du Muséum national d'histoire naturelle, Laboratoire d'évolution des systèmes naturels et modifiés, Paris.
- **CONVENTION DE PARTENARIAT** entre Coglais Communauté Marches de Bretagne et l'association Bretagne Vivante – SEPNEB, 2014.
- **Dolédéc, S., Chessel, D., 1987.** Rythmes saisonniers et composantes stationnelles en milieu aquatique I- Description d'un plan d'observations complet par projection de variables. *Acta Oecologica, Oecologia Generalis*, 8, 3, 403–426.
- **Dubos T., comm. pers.,** Détermination des seuils de confiance Sonochiro fiables pour les groupes acoustiques, 8p.
- **Dubos T. et al., 2016.** Observatoire des chauves-souris de Bretagne - Bilan final, 36p.
- **Godineau F. et Pain D., 2007.** Plan de restauration des chiroptères en France métropolitaine, 2008 – 2012 / Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères / Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, 7p.
- **Groupe mammalogique Breton, 2015.** Atlas des mammifères de Bretagne, 303p.
- **Hill, M. O., A. J. E. Smith. 1976.** Principal component analysis of taxonomic data with multi-state discrete characters. *Taxon*, 25, 249-255.
- **Hutson A.M., Mickleburgh S.P. & Racey P.A. ,2001.** Microchiropteran bats. Global Status Survey and Conservation Action Plan. IUCN Gland, 258p.
- **IPBES, 2019.** Communiqué de presse: Le dangereux déclin de la nature : Un taux d'extinction des espèces « sans précédent » et qui s'accélère.
- **Institut de l'Élevage, Manneville V., Chanséaume A., Amiaud B., 2014.** La vache, la haie et la chauve-souris : les acteurs d'un agroécosystème à bonne valeur écologique, 27p.
- **Jacquet K., Prodon R., 2014.** Analyses multivariées avec ade4 dans R -EPHE BEV Montpellier, 32p.
- **Jones G., Jacobs D.S., Kunz T.H., Willig M.R., Racey P.A., 2009.** Carpe noctem : the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*. 8, 93-115.
- **Lecq S., 2013.** Importance de la structure des haies, des lisières, et de la disponibilité en abris sur labiodiversité, implications en termes de gestion. Sciences de l'environnement. Université de Poitiers, 201p.
- **Le Dréan-Quénec'hdu S., 2013.** Rapport suite à L'ENQUETE du 16 octobre au 18 novembre 2013 Relative au projet d'aménagement foncier, agricole et forestier et de travaux connexes sur la commune de Saint Marc le Blanc avec extension sur Chauvigné et le Tiercent, 54p.
- **Le Houédec A. 2020.** Suivi écologique des travaux connexes à l'aménagement foncier. Saint Marc Le Blanc- Ille et Vilaine. Suivi chiroptérologique du bocage Année 6-2019, 21p.

- **Le Roux X., R. Barbault, J. Baudry, F. Burel, I. Doussan, E. Garnier, F. Herzog, S. Lavorel, R. Lifran, J. Roger-Estrade, J.P. Sarthou, M. Trommetter (éditeurs), 2008.** Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA (France).
- **Plan National d'actions En faveur des chiroptères 2016-2025.** Janvier 2017, 83p.
- **Robinson et Sutherland, 2002.** Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *J. Appl. Ecol.* 39, 157–176.
- **Rouault H-P., 2009.** Projet Breizh Bocage dans le Coglais. Communauté de commune du Coglais, 99p.
- **Verboom B., Huitema H., 1997.** The importance of linear landscape elements for the pipistrelle *Pipistrellus pipistrellus* and the serotine bat *Eptesicus serotinus*, *Landscape Ecol* 12, 117–125.
- **Viard M. 2017.** Variations spatiale et temporelle de la diversité et de l'activité des chauves-souris dans un contexte d'aménagement foncier. Rapport de stage Master 2, Université Rennes 1, 51p.
- **Viaud V., Thomas Z., 2019.** Une réflexion sur l'état des connaissances des fonctions du bocage pour l'eau dans une perspective de mobilisation pour l'action. Dans *Sciences Eaux & Territoires* 2019/4 (Numéro 30), pages 32 à 37.

Webographie

- Agreste Bretagne, 2018. Disponible sur « <http://draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/Agreste-Bretagne-Synthese-La> »
- Bretagne Vivante, consulté le 16/06/2020. Disponible sur : <https://www.bretagne-vivante.org/Nos-actions/Connaitre/Les-mammiferes/Les-chauves-souris>
- Bretagne Vivante, consulté le 24/06/2020. Disponible sur : <https://www.bretagne-vivante.org>
- Bretagne Porte de la Loire Communauté « Breizh-bocage », consulté le 19/06/2020. Disponible sur : <https://www.bretagneportedeloire.fr/breizh-bocage/>
- Couesnon Marches de Bretagne, consulté le 25/06/2020. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Couesnon_Marches_de_Bretagne
- INPN « *Pipistrellus pipistrellus* », consulté le 19/06/2020. Disponible sur : https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/60479/tab/statut
- INPN ZNIEFF « Le Rocher Bigot et La Vairie », consulté le 19/06/2020. Disponible sur : <https://inpn.mnhn.fr/zone/znief/530020192>
- Les haies du Puy de Dôme « Rôles de la haie », consulté le 26/07/2020. Disponible sur : <http://haiesdupuydedome.fr/role-de-la-haie/>
- Observatoire de l'environnement en Bretagne « Le Bocage en Bretagne », consulté le 26/07/2020. Disponible sur : <https://bretagne-environnement.fr/bocage-en-bretagne>
- Team Chiro « Vigie-Chiro – Tendances de population », consulté le 26/07/2020. Disponible sur : <https://croemer3.wixsite.com/teamchiro?lang=fr>
- Vigie Nature « Vigie-Chiro » consulté le 26/07/2020. Disponible sur : <http://www.vigienature.fr/fr/chauves-souris>
- Wikipédia « Pollinisation », consulté le 19/06/2020. Disponible sur : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Pollinisation#Pollinisation_par_les_animaux_\(la_zoogamie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pollinisation#Pollinisation_par_les_animaux_(la_zoogamie))
- Wikipédia « Bocage », consulté le 19/06/2020. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Bocage#Bocage_fran%C3%A7ais

Annexes

Annexe 1 – Seuils de confiance selon l'indice de fiabilité Sonochiro par groupe d'espèces (GMB, T.Dubos, 2015).

Groupe acoustique	Indice de confiance du logiciel Sonochiro											Nombre de sequences validées sur lesquelles porte l'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						Rhinolophes					286

Annexe 2 - Etat des poses d'enregistreurs par carré et par année (source : A.Le Houedec - Bretagne Vivante).

(Les chiffres dans les cases correspondent au nombre de répliquats ayant fonctionnés dans le carré en question)

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Carrés de type "arasés"	A1		2		2		2			
	A2		2		2		2			
	A3	2								
	A4			2		2				
	A5	4		2						
	A6		1		2		2			
	A7		2		2		2			
	A8		2		2		2			
	A9	2	1	2		2				
	A10			2		2				
	A11									
	A12			2		2				
Carrés de type "conservés"	C1	4		2		2	2			
	C2				2		2			
	C3		2							
	C4		2		2		2			
	C5		1		2		2			
	C6		2		2					
	C7	4	2	2		2				
	C8									
	C9			2		2				
	C10			2		2				
	C11				2					
	C12			2		2				
Carrés de type "replantés"	R1	5	2	2		2				
	R2		2		1		2			
	R3			2		2				
	R4		2		2		2			
	R5		1		2	2	2			
	R6		1		2		2			
	R7	4		2		2				
	R8		2							
	R9									
	R10		2		1		2			
	R11			2		2				
	R12			2		2	2			
Sous-total modules sur haies		25	31	30	28	30	30	0	0	0
Carrés biodiversité	CR	2		2	2	2	2			
	VA	4	1	2	2	2	2			
	RB	4	1	2	2	2	2			
Sous-total modules sur réservoirs biodiv.		10	2	6	6	6	6	0	0	0
Total modules		35	33	36	34	36	36	0	0	0
										210

Annexe 3 – Test de permutation réalisé sur l'ACP (3.1.2).

#Effet "type" : non significatif

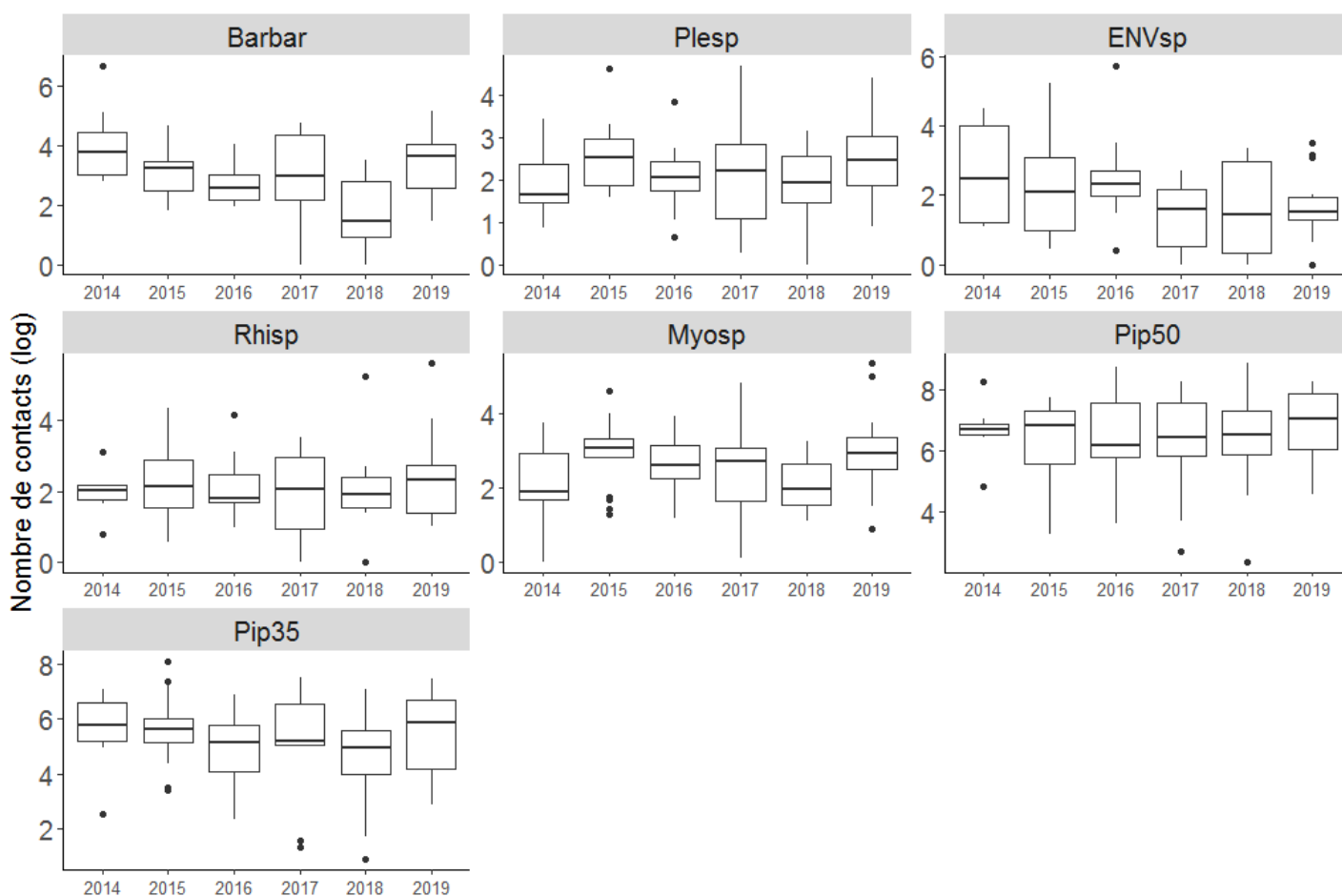
```
> round(randtest(bca(pca1, tab_global_contacts$Type, scan=F))$obs, dig=3);  
[1] 0.013 #R-squared  
> round(randtest(bca(pca1, tab_global_contacts$Type, scan=F))$pvalue, dig=3)  
[1] 0.854 #p-value
```

#Effet "année" : significatif mais seulement 9.9% de variance expliquée.

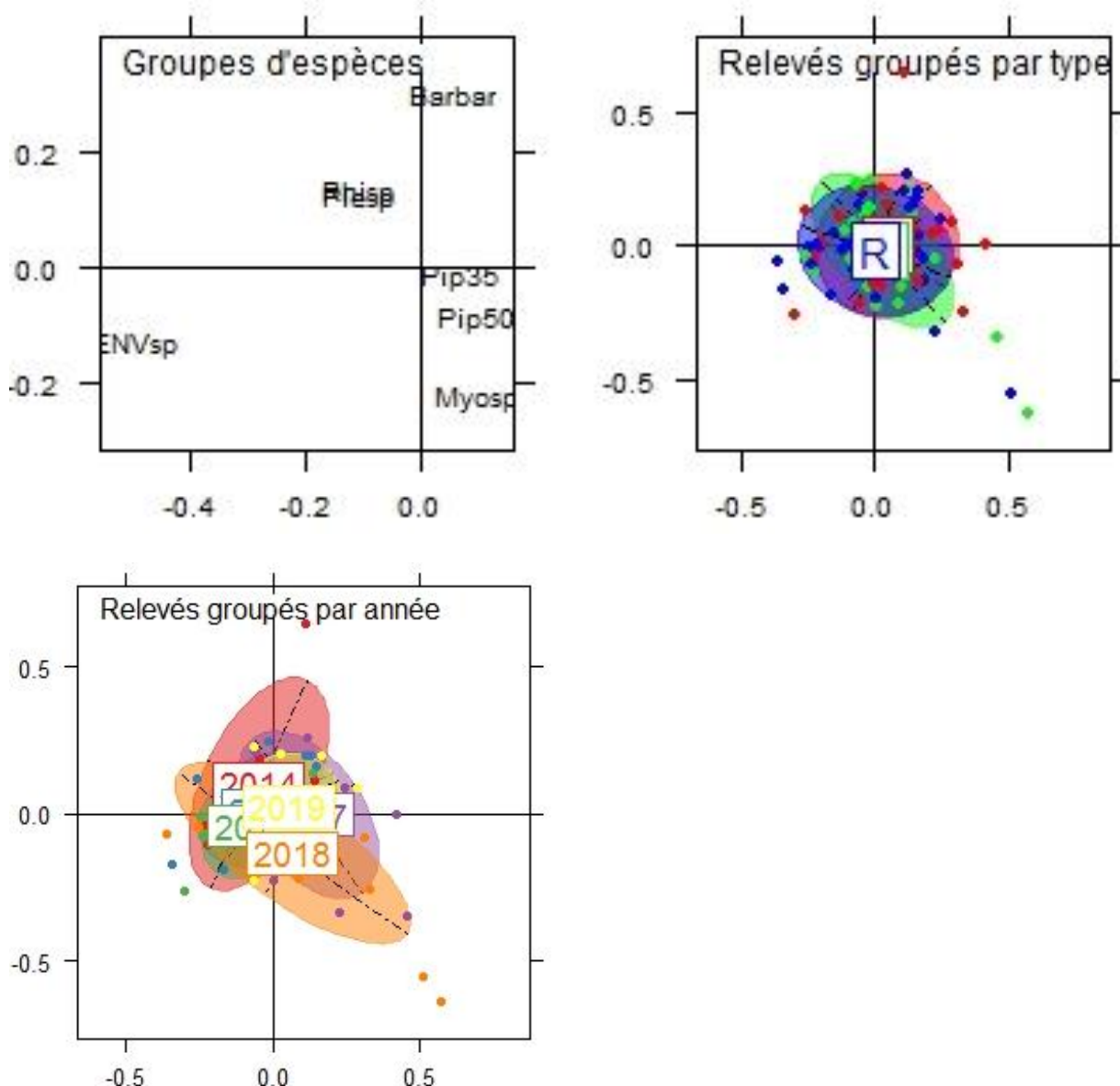
```
> round(randtest(bca(pca1, as.factor(tab_global_contacts$Annee), scan=F))$obs, dig=3)  
[1] 0.099 #R-squared  
> round(randtest(bca(pca1, as.factor(tab_global_contacts$Annee), scan=F))$pvalue, dig=3)  
[1] 0.033 #p-value
```

Annexe 4 – Graphiques d'évolution (Boxplot) de l'activité moyenne par groupe acoustique de chiroptères en fonction des années.

Barbar = *Barbatella barbastellus*, la Barbastelle d'Europe ; Plesp = genre *Plecotus* (oreillards) ; ENVsp = genres *Eptesicus*, *Nyctalus*, *Vespertilio* (sérotines, noctules et vespertillons) ; Rhisp = genre *Rhinolophus* (rhinolophes) ; Myosp = genre *Myotis* (murins) ; Pip50 = genre *Pipistrellus* à hautes fréquences (*Pipistrelle* commune) ; Pip35 genre *Pipistrellus* à basses fréquences (*Pipistrelle* de Kuhl et de Nathusius).



Annexe 5 – Représentations graphiques de l'Analyse Factorielle des Correspondances des activités moyennes des groupes de chiroptères de 2014 à 2019.



Annexe 6 – Test de permutation réalisé sur l'AFC (3.1.2).

#Effet "type" : non significatif

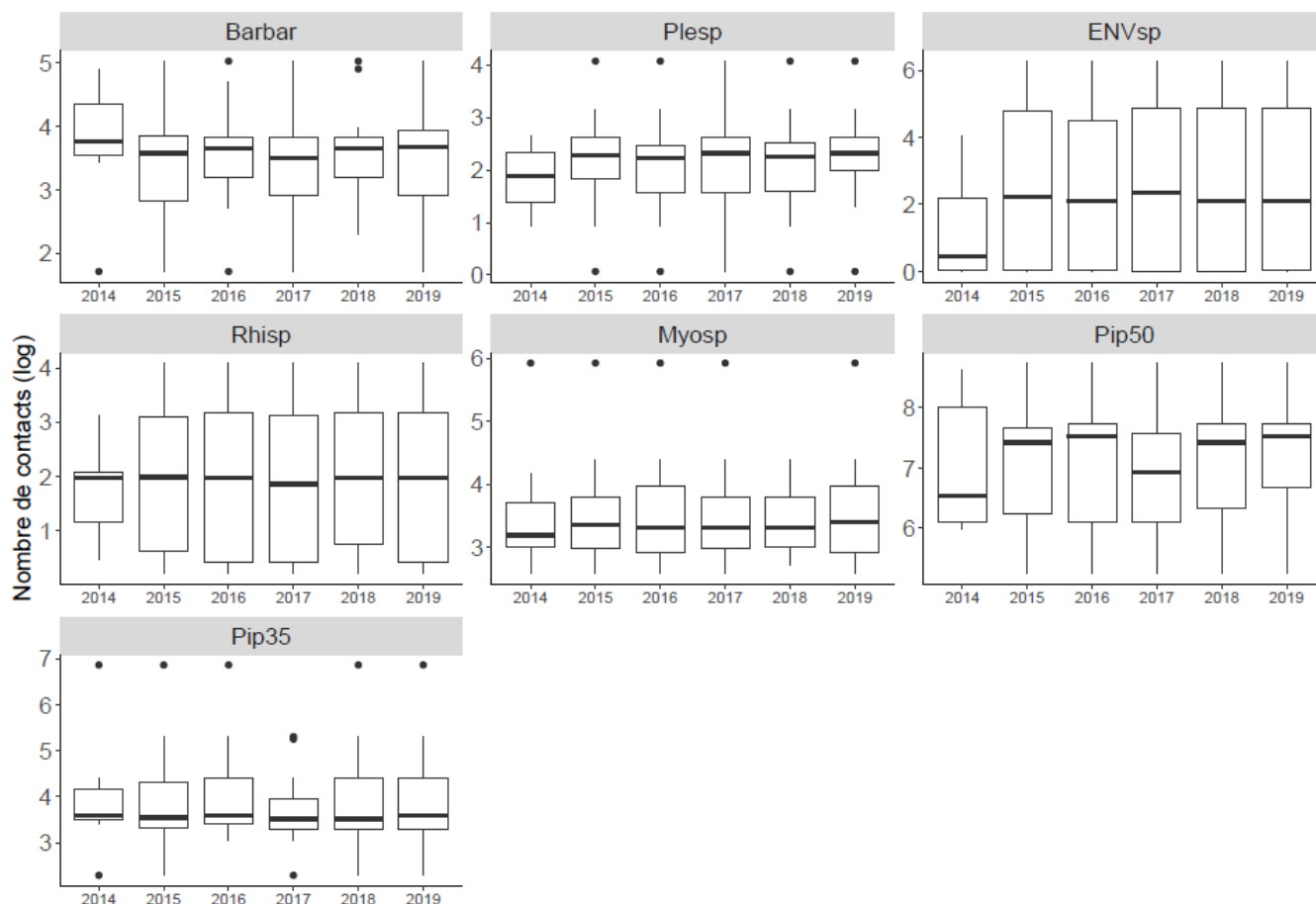
```
> round(randtest(bca(coa1, tab_global_contacts$Type, scan=F))$obs, dig=3);
[1] 0.014
> round(randtest(bca(coa1, tab_global_contacts$Type, scan=F))$pvalue, dig=3)
[1] 0.808
```

#Effet "année" : significatif mais seulement 9.9% de de variance expliquée

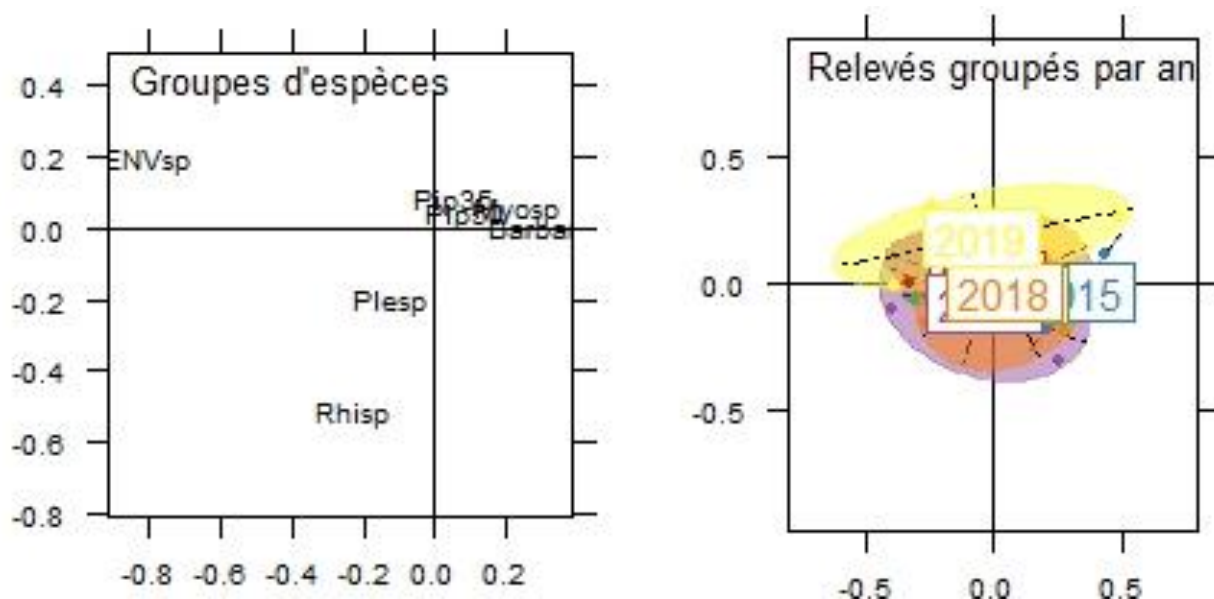
```
> round(randtest(bca(coa1, as.factor(tab_global_contacts$Annee), scan=F))$obs, dig=3);
[1] 0.099
> round(randtest(bca(coa1, as.factor(tab_global_contacts$Annee), scan=F))$pvalue, dig=3)
[1] 0.004
```

Annexe 7 – Graphiques d'évolution (Boxplot) de l'activité moyenne par groupe acoustique de chiroptères dans les « îlots de biodiversité » en fonction des années.

Barbar = *Barbatella barbastellus*, la Barbastelle d'Europe ; Plesp = genre *Plecotus* (oreillards) ; ENVsp = genres *Eptesicus*, *Nyctalus*, *Vespertilio* (sérotines, noctules et vespertilions) ; Rhisp = genre *Rhinolophus* (rhinolophes) ; Myosp = genre *Myotis* (murins) ; Pip50 = genre *Pipistrellus* à hautes fréquences (Pipistrelle commune) ; Pip35 genre *Pipistrellus* à basses fréquences (Pipistrelle de Kuhl et de Nathusius).



Annexe 8 – Représentations graphiques de Analyse Factorielle des Correspondances des activités moyennes des groupes de chiroptères dans les « réservoirs de biodiversité » de 2014 à 2019, et test de permutation associé.



#Effet "année" : non significatif (p-value = 0,875>>0,05)

```
> round(randtest(bca(coabio,as.factor(tab_biodiv$Annee),scan=F))$obs,dig=3);
[1] 0.202
> round(randtest(bca(coabio,as.factor(tab_biodiv$Annee),scan=F))$pvalue,dig=3)
[1] 0.875
```

Annexe 9 – Résultats des tests d'ANOVA à 1 facteur sur les années 2016 et 2018.

(facteur = type A,R ou C).

#Anova 2016

```
> anova(lm(H_2016~typ16))
Analysis of Variance Table
```

Response: H_2016

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
typ16	2	0.88490	0.44245	7.6372	0.007254 **
Residuals	12	0.69521	0.05793		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(lm(H_2016~typ16))
```

Call:

```
lm(formula = H_2016 ~ typ16)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.44656	-0.08530	0.02092	0.12154	0.35982

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.5666	0.1076	5.264	0.00020 ***
typ16C	0.1662	0.1522	1.092	0.29641
typ16R	0.5778	0.1522	3.796	0.00255 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2407 on 12 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.56, Adjusted R-squared: 0.4867
F-statistic: 7.637 on 2 and 12 DF, p-value: 0.007254

#Anova 2018

```
> anova(lm(H_2018~typ18))
Analysis of Variance Table
```

Response: H_2018

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
typ18	2	0.85365	0.42683	4.3387	0.0382 *
Residuals	12	1.18051	0.09838		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(lm(H_2018~typ18))
```

Call:

```
lm(formula = H_2018 ~ typ18)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.46650	-0.22714	-0.00749	0.21748	0.38563

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.44746	0.15682	2.853	0.0145 *
typ18C	0.06331	0.21040	0.301	0.7686
typ18R	0.51958	0.20246	2.566	0.0247 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3136 on 12 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.4197, Adjusted R-squared: 0.3229
F-statistic: 4.339 on 2 and 12 DF, p-value: 0.0382

Annexe 10 – Calcul de l'inertie associée à l'Analyse de Hill et Smith sur la structure des haies.

```
> inertia.dudi(hs)
```

Inertia information:

```
Call: inertia.dudi(x = hs)
```

Decomposition of total inertia:

	inertia	cum	cum(%)
Ax1	2.8011	2.801	25.46
Ax2	2.4811	5.282	48.02
Ax3	1.5642	6.846	62.24
Ax4	1.0976	7.944	72.22
Ax5	0.8348	8.779	79.81
Ax6	0.6655	9.444	85.86
Ax7	0.5433	9.988	90.80
Ax8	0.4215	10.409	94.63
Ax9	0.2877	10.697	97.24
Ax10	0.2142	10.911	99.19
Ax11	0.0890	11.000	100.00

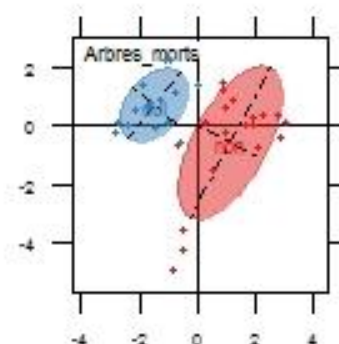
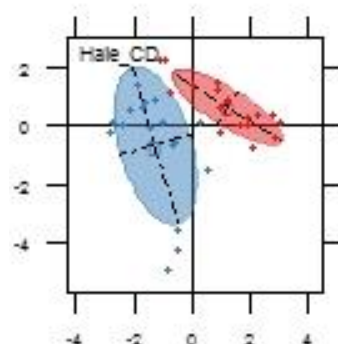
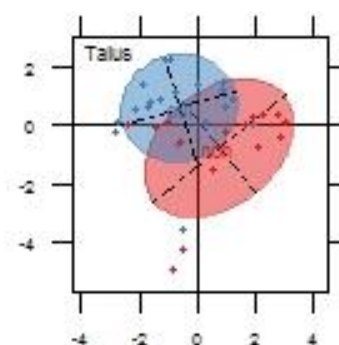
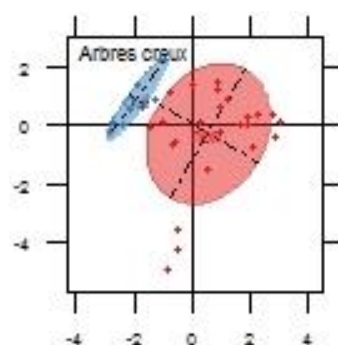
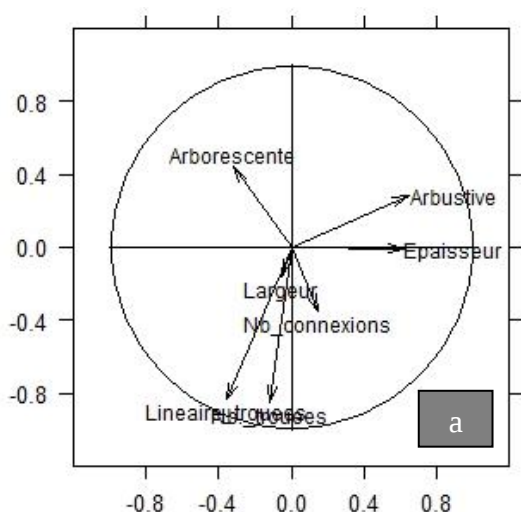
Annexe 11 – Coefficients de corrélations entre les axes 1, 2 et 3 de l'analyse de Hill et Smith et chaque variable de structure des haies.

```
> round(hs$cr,dig=3)
```

	RS1	RS2	RS3
Largeur	0.003	0.025	0.343
Epaisseur	0.388	0.000	0.074
Nb._trouees	0.013	0.724	0.018
Lineaire_trouees	0.128	0.695	0.014
Nb_connexions	0.021	0.120	0.332
Arborescente	0.101	0.194	0.303
Arbustive	0.415	0.082	0.231
Arbres_creux	0.398	0.105	0.056
Talus	0.168	0.192	0.164
Haie_CD	0.551	0.178	0.003
Arbres_morts	0.615	0.166	0.028

Annexe 12 – Détails des résultats de l'analyse de Hill et Smith, sur les variables quantitatives en a, et qualitatives en b.

Sur la figure b, des ellipses bien séparées indiquent la meilleure contribution des variables à différencier les relevés.



b

Annexe 13 – Test de permutation réalisé sur l’analyse de Hill et Smith (axe 1 et 2)

Effet « type » non significatif :

```
> round(randtest(bca(hs1,Haietot$Type,scan=F))$obs,dig=3);  
[1] 0.071  
> round(randtest(bca(hs1,Haietot$Type,scan=F))$pvalue,dig=3)  
[1] 0.255 #p-value >> 0.05
```