encis environnement

Bureau d'études en environnement
energies renouvelables et aménagement durable

ACTIVITÉ DES CHIROPTÈRES EN HAUTEUR DANS LE CADRE DE L'IMPLANTATION DE PARCS ÉOLIENS

ANALYSES CIBLÉES SUR LES COMPORTEMENTS D'ESPÈCES ET LES POSSIBILITÉS DE CONSERVATION APPLIQUÉE AUX PARCS ÉOLIENS

PROGRAMME DE RECHERCHE ET DE DÉVELOPPEMENT N°2C

Rédacteur(s) : Marie Labouré
Analyste (s) : Marie Labouré

Comité de lecture :
Michaël LEROY, Responsable du pôle écologie de Limoges, Chiroptérologue
Pierre PAPON, Docteur en Géographie, Directeur du pôle écologie d'ENCIS Environnement
Sylvain LE ROUX, Docteur en Géographie, Directeur d'ENCIS Environnement

Date : 19/04/2024

OPQIBI L'INGÉNIERIE QUALIFIÉE CERTIFICAT N° 17 04 3445

Sommaire

RÉSUMÉ **3**
INTRODUCTION **4**
1. MATÉRIELS ET MÉTHODES **9**
1.1. DESCRIPTION DU JEU DE DONNEES 9
1.2. COLLECTE ET ANALYSE DES SONS 10
1.3. ATTRIBUTION DES DONNEES METEOROLOGIQUES ET HORAIRES 11
1.4. ATTRIBUTION DES DONNEES D'HABITATS 11
1.5. COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNEES DE MORTALITE 11
1.6. ATTRIBUTION DES DONNEES DE MORTALITE 12
1.7. ANALYSES MENEES SUR LE JEU DE DONNEES 12
1.8. LIMITES DE L'ETUDE 12
2. RÉSULTATS **13**
2.1. ANALYSE MULTIVARIEE DE L'INFLUENCE DE L'ENSEMBLE DES VARIABLES SUR L'ACTIVITE DES CHIROPTERES 13
2.1.1. Analyse globale *13*
2.1.2. Analyse par espèces *14*
2.2. ANALYSE MULTIVARIEE DE L'INFLUENCE DES VARIABLES METEOROLOGIQUES ET TEMPORELLES SUR L'ACTIVITE DES CHIROPTERES 18
2.2.1. Analyse globale *18*
2.2.2. Analyse par espèces *19*
2.3. ANALYSE MULTIVARIEE DE L'INFLUENCE DES VARIABLES DE PROXIMITE D'HABITATS ATTRACTIFS SUR L'ACTIVITE DES CHIROPTERES 23
2.3.1. Analyse globale *23*
2.3.2. Analyse par espèces *24*
2.4. ANALYSE MULTIVARIEE DE L'INFLUENCE DES VARIABLES SURFACIQUE D'HABITATS NATURELS ENVIRONNANT SUR L'ACTIVITE DES CHIROPTERES 27
2.4.1. Analyse globale *27*
2.4.2. Analyse par espèces *28*
2.5. ANALYSE MULTIVARIEE DE L'INFLUENCE DES VARIABLES SUR LES CAS DE MORTALITE DES CHIROPTERES 32
3. CONCLUSION ET DISCUSSION **33**
3.1. PERSPECTIVE DE L'ETUDE 36
BIBLIOGRAPHIE **38**

RÉSUMÉ

Dans le cadre de l'implantation de parcs éoliens en France des études réglementaires de suivi pré-implantation et post-implantation sont mises en place. Ces études visent à réaliser pour les premières des suivi d'activité des chiroptères au sol et en hauteur avant l'implantation des parcs éoliens et les secondes des suivis au sol de la mortalité liée aux éoliennes ainsi que des suivis comportementaux des chiroptères généralement en nacelle en présence des éoliennes. Dans l'optique de mieux comprendre les différents phénomènes engendrant les risques de mortalité pour les chiroptères, cette étude analyse les résultats obtenus sur les suivis comportementaux des chiroptères en nacelle d'éolienne. Sur la base de cinq années d'études sur 25 sites d'écoute ultrasonique en hauteur représentatifs du grand ouest de la France.

Ainsi, une analyse approfondie de la répartition des chiroptères en fonction des différents paramètres environnementaux : conditions météorologiques, cycle circadien, période de l'année, localité, habitats à proximité, etc. et des paramètres biologiques des chiroptères : comportements, robustesse aux conditions météorologiques, capacités à évoluer en hauteur, sélection d'habitats, etc.

MOTS CLÉS : chiroptères, température, vitesse de vent, cycle circadien, habitat, proximité milieu, acoustique, éolien, mortalité

INTRODUCTION

En France, l'implantation de parc éolien fait l'objet de plusieurs suivis réglementaires. Parmi ceux-ci, l'étude d'impact environnementale en amont de la mise en place des parcs éoliens et le suivi environnemental pour les projets éolien.

C'est dans ce cadre, que les données présentées dans cette étude, ont été récoltées. Ainsi, l'étude d'impact environnementale et le suivi environnemental analyse les impacts du projet les chiroptères et, pour les installations soumises à autorisation, sur toute espèce protégée identifiée, dont la sensibilité à l'éolien est avérée et présentant un enjeu dans l'évaluation environnementale préalable. Plusieurs protocoles sont ainsi appliqués concernant les chiroptères et plus particulièrement pour le présent rapport :

- L'écoute de l'activité des chauves-souris en hauteur sur mât de mesure permet d'évaluer l'activité des chiroptères au niveau des futurs nacelle et rotor d'éolienne. Il a également pour objectif d'estimer le risque d'impact et de collision pour les chiroptères dans le contexte d'implantation d'éolienne.
- Le suivi de l'activité des chauves-souris qui permet d'évaluer la présence et le comportement des espèces de chiroptères au niveau de l'espace aérien au niveau du parc éolien. Il a également pour objectif d'estimer l'impact direct ou indirect des éoliennes sur l'état de conservation de ces espèces, en prenant en compte l'ensemble des facteurs influençant la dynamique des populations. Ce suivi se traduit par un protocole d'écoute au niveau de la nacelle permettant de réaliser des inventaires sur une longue période et à hauteur de nacelle d'éolienne.

Les chiroptères sont des espèces dites longévives présentant une longévité élevée, une maturité sexuelle tardive et un taux de reproduction faible avec un petit par an expliquant un très faible taux d'accroissement des populations de chauves-souris (Culina *et al.* 2019, Kerbiriou *et al.* 2015b, Froidevaux *et al.* 2017). L'état des populations de chiroptères est encore mal connu mais le maintien de ces dernières repose sur la survie des adultes (Diffendorfer *et al.* 2015, Lentini *et al.* 2015, Culina *et al.* 2019). Bien que l'estimation des populations soit complexe à surveillée et que la taille des populations est encore loin d'être connue, les paramètres démographiques et, par conséquent, le potentiel impacts des décès sur la viabilité des populations de chauves-souris est un paramètre important à prendre en compte (Lenhert *et al.* 2014, Ellison LE 2013).

Des études récentes au niveau national présentent différents patterns avec des tendances à l'augmentation pour la Barbastelle d'Europe, le Grand Murin, le Grand Rhinolophe, le Murin à oreilles échancrées, le Petit Rhinolophe, la Pipistrelle de Kuhl et le Rhinolophe euryale et à l'inverse des tendances à la diminution pour le Minioptères de Schreibers, la Noctule commune, la Noctule de Leisler, le Petit Murin, la Pipistrelle commune et la Sérotine commune (Tapeiro *et al.* 2017, SFEPM 2016a, Bas *et al.* 2020). Globalement, la tendance de population au niveau national sur l'ensemble des espèces de chiroptères est en diminution entre 2006 et 2018 (Bas et al. 2020).

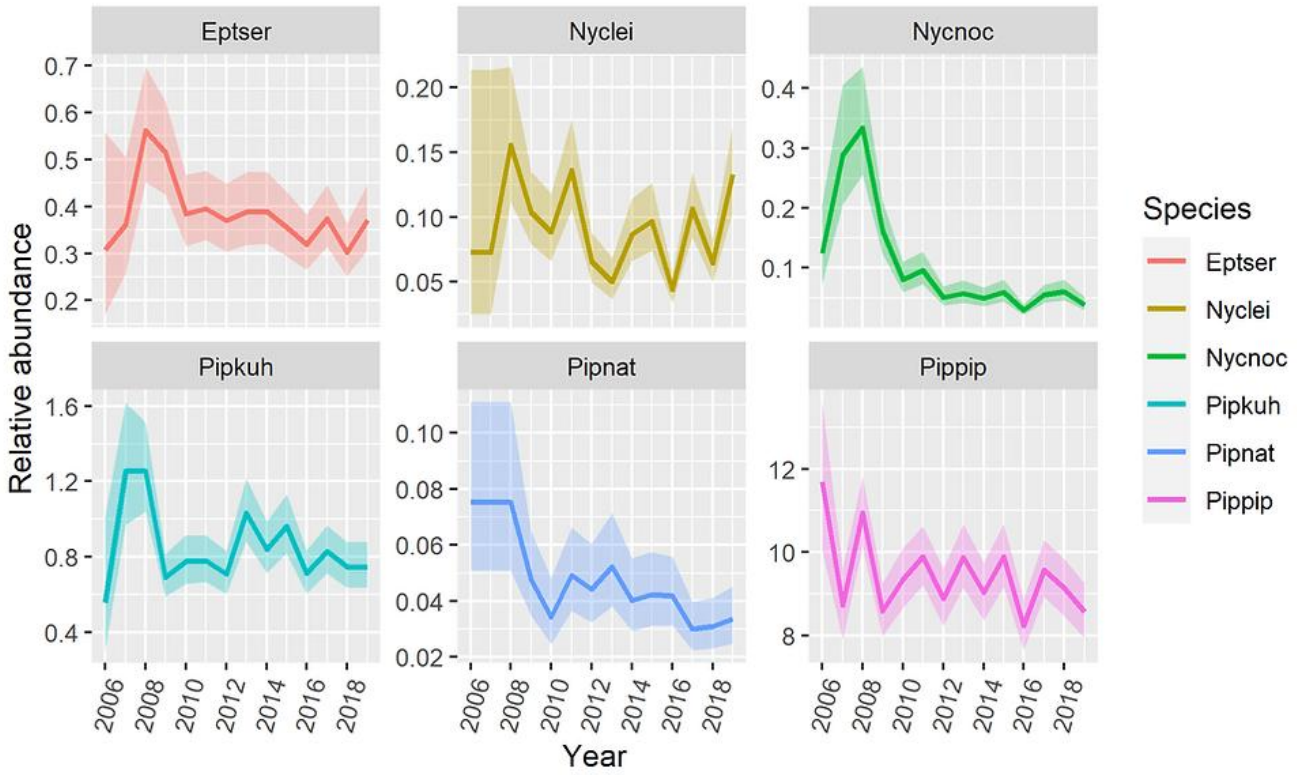


Figure 1 : Tendances des populations pour six espèces de chauves-souris en France entre 2006 et 2018 (Bas et al. 2020)

Face à ce constat de tendances de populations des chiroptères en diminution et plus particulièrement des espèces sensibles à l'éolien présentés ci-dessus, il apparait crucial de comprendre les comportements de ces espèces et les facteurs pouvant influencer le risque de mortalité des chiroptères.

Selon certains auteurs, les aérogénérateurs constituent la plus grande source de mortalité des chiroptères (O'shea *et al*. 2016), cependant l'impact par mortalité souffre d'un manque de connaissances important (Arnett *et al*. 2016).

Ainsi, parmi les facteurs influençant l'activité des chiroptères et de ce fait les risques de collision avec les éoliennes, on retrouve :

- **La hauteur de vol des chiroptères et la sensibilité des espèces à l'éolien**. Il existe une corrélation significative entre les espèces sensibles au risque de collision sur les parcs éoliens et leurs préférences en termes de hauteur de vol (Roemer et al. 2017). Ainsi parmi les espèces de chiroptères présentent en Europe, deux principaux groupes peuvent être créer. Les espèces se déplaçant et chassant en plein ciel dites de « haut-vol » (molosse, noctules) et celles de lisières susceptibles d'évoluer régulièrement en hauteur (pipistrelles, minioptères, sérotines). Ces espèces sont considérées comme particulièrement sensibles au risque de collision (Dürr 2021). Les espèces spécialistes et majoritairement associées aux milieux forestiers, bocagers ou humides qui dans la grande majorité de leurs déplacements restent à proximité des structures arborées et dépassent rarement la canopée (Barbastelle d'Europe, murins sp., oreillards sp., rhinolophes sp.). Ces espèces présentent un risque de collision avec les éoliennes assez faible (Dürr 2021).

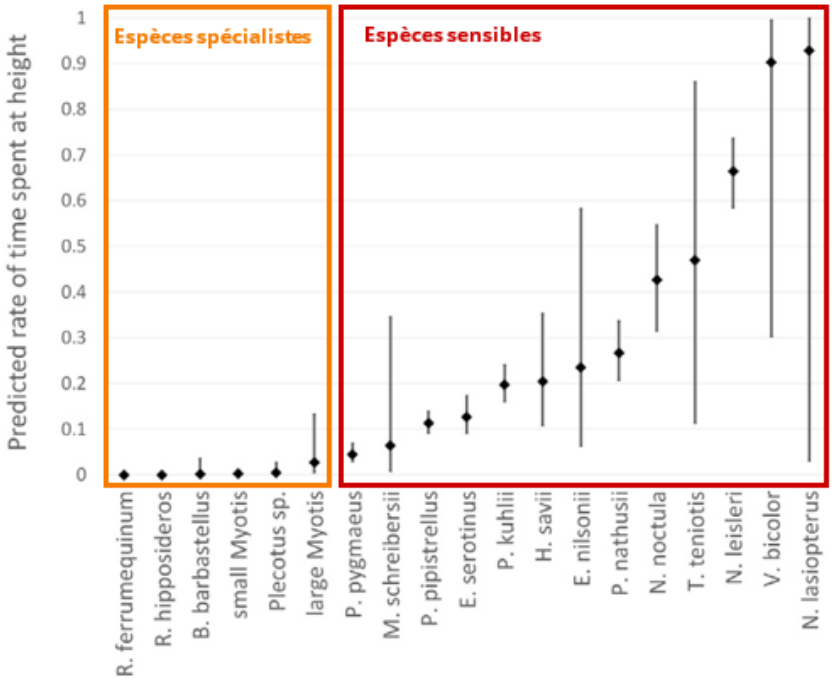


Figure 2 : Ration du temps passé en hauteur pour chaque espèce de chiroptères (Adapté de Roemer et al. 2017).

- **Les habitats**. En effet, les habitats présents au niveau des aménagements des parcs éoliens et dans les secteurs environnants influencent le risque de mortalité chez les chiroptères (Brinkmann et al. 2011, Hensen 2004, Grindal & Brigham 1998). Rydell et al. en 2010 observent une mortalité de 0 à 3 chiroptères/éolienne/an en openfield, de 2 à 5 chiroptères/éolienne/an en milieu plus hétérogène et de 5 à 20 chiroptères/éolienne/an sur la côte et en forêt (surtout sur les promontoires et crêtes). Ces résultats sont confirmés par plusieurs études (Ahlen et al. 2003, Eurobats 2016, Mathews et al. 2012 Lacoeuilhe et al. 2018, Lacoeuilhe et al. 2016, Kelm et al. 2014, Boughey et al. 2011). Barré *et al.* en 2018 a travaillé sur une méthode de calcul pour quantifier la perte de haies pour les chiroptères lors de l'implantation d'éoliennes en fonction de la proximité de celles-ci aux haies ainsi que du contexte local. Un fort effet négatif de l'implantation d'éolienne à des distances allant jusqu'à 1 000 m des haies sur les chiroptères est mis en évidence pour les espèces glaneuses et de vol rapide. Parallèlement, un effet significatif positif de l'augmentation de la distance de l'éolienne à la haie est mis en évidence pour plusieurs espèces de chiroptères.
- **La saisonnalité**. Les chiroptères affichent un cycle biologique présentant une phase d'hibernation de novembre à février, une phase de migration printanière vers les gîtes estivaux de mars à mai, une phase de mise-bas au sein de ces gîtes de juin à juillet-aout, une période de migration vers les secteurs de swarming (accouplements) et vers les gîtes hivernaux d'aout à octobre. Sur l'ensemble de ces saisons, hormis l'hibernation, des cas de mortalités liés aux éoliennes sur des populations locales où migratrices sont observées (Brinkmann et al. 2011, Voigt et al. 2012). Cependant, la majorité des auteurs s'accordent sur le fait que la saisonnalité joue un rôle prépondérant sur la mortalité des chiroptères par collision avec des aérogénérateurs : l'activité chiroptérologique et donc la mortalité sont les plus élevées en fin d'été-début d'automne, ce qui correspond à une période de migration des chauves-souris (Alcalde 2003, Arnett et al. 2008, Rydell et al. 2010a, Brinkmann et al. 2011, Amorim et al. 2012, Limpens et al. 2013).
- **Le cycle circadien**. Ainsi, Behr et al. en 2017 ont démontrés que l'activité des chiroptères est maximale pendant la première moitié de la nuit. Le groupe des noctules (principalement la

Noctule commune) est actif avant le coucher du soleil et avant le groupe des pipistrelles. Après le premier quart de la nuit, l'activité commence à diminuer et diminue continuellement jusqu'au lever du soleil, avec une diminution plus forte peu avant le lever du soleil. Quelque fois un pic d'activité plus faible a été enregistré en fin de nuit, ce phénomène est principalement dû à l'activité des espèces de noctule. La Pipistrelle de Nathusius, montre un schéma légèrement différent de celui des autres espèces avec une activité culminant au milieu de la nuit. Ces résultats sont observés sur des études de l'activité des chiroptères et peuvent varier en fonction de la saisonnalité (Arthur et Lemaire 2015, Newson et al. 2015, Labouré ENCIS Environnement 2021).

- **La vitesse de vent**. Rydell et al. (2010) ont noté des activités maximales pour une vitesse de vent entre 0 et 2 m/s puis, de 2 à 8 m/s, une activité diminuant pour devenir inexistante au-delà de 8 m/s. Selon, Martin et al. (2015), la plupart des nuits où des victimes se sont produites (81,5 %) ont eu des vitesses de vent moyennes faibles (≤5 m/s mesurées au sol) et toutes les victimes se sont produites les nuits avec une vitesse moyenne du vent <10 m/s. Behr et al. (2007) arrivèrent aux mêmes conclusions pour des vitesses de vent supérieures à 6,5 m/s. Si la plupart des études sur le sujet concordent sur ce phénomène, les valeurs seuils sont variables et dépendantes de la localisation des sites, de la période de l'année, des espèces concernées.
- **La température**. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre augmentation de la température et activité (Redell et al. 2006 ; Arnett et al. 2006, 2007 ; Baerwald and Barclay 2011, Voigt et al. 2015), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influençant l'activité chiroptérologique (Horn et al. 2008 ; Kerns et al. 2005). Des études récentes ont cependant permis de mettre en évidence une augmentation marquée de l'activité chiroptérologique entre 10 et 25 °C (Labouré ENCIS Environnement 2021, Behr et al. 2017, Heim et al. 2016, Martin et al. 2015).
- **D'autres conditions météorologiques**. L'activité des chiroptères est également corrélée à d'autres variables météorologiques telles que la pression atmosphérique, l'humidité relative, le taux de précipitation, la couverture nuageuse, le brouillard ou encore le rayonnement lunaire (Behr et al. 2017, Heim et al. 2016, Voigt et al. 2015, Cryan et al. 2014, Limpens et al. 2013, Amorim et al. 2012, Behr et al. 2011, Brinkmann et al. 2011, Baerwald and Barclay 2011, O'Donnell et al. 2010, Bach & Bach 2009, Horn et al. 2008, Kerns et al. 2005). Cependant, les opinions sur ces autres paramètres météorologiques sont d'autant plus mitigées. Il semble toutefois plus vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères ou l'abondance d'insectes (Corten and Veldkamp 2001, Behr et al. 2011).
- **Le modèle d'éolienne**. En effet, plusieurs études se sont intéressées au sujet des modèles d'éoliennes et ont permis de démontrer plusieurs phénomènes. Plus les rotors sont grands plus la mortalité des chiroptères augmente (Arnett et al. 2008). En effet, la longueur des pales est le facteur qui influence le plus le risque de collision avec les chiroptères devant la hauteur de nacelle (Mathews et al. 2016, Rydell et al. 2010a). Plus la garde au sol est basse plus le risque de collision est accru pour les chiroptères. Ainsi, les gardes au sol inferieures à 30 m présentent de fort risque de mortalité pour les chiroptères notamment sur des espèces jusqu'à lors peu concernée par ce type d'impact de par leur hauteur de vol entre autres (Roemer et al. 2017, Heitz et al. 2017, Hein et al. 2016). Les couleurs banche et gris clair des éoliennes semblent également influencer la présence d'insectes et ainsi engendrer d'éventuels comportements de chasse à risque à proximité des éoliennes (Long et al. 2011, Kunz et al. 2007). Des recommandations récentes de la SFEPM (2020) préconisent en ce sens de proscrire les hauteurs de garde inferieures à 30 m, de limiter la

taille des rotors à 90 m ou si les rotors sont supérieurs à 90 m de proscrire les gardes au sol inferieures à 50 m.

Le développement de l'éolien en France entraine des modifications sur la biodiversité. Ainsi, la mise en place de plusieurs documents de référence pour une bonne prise en compte notamment des chauves-souris dans l'implantation de parc éolien à l'exemple d'Eurobats en 2016 et du groupe chiroptères de la SFEPM 2016 et 2020, permet de mieux cerner le comportement de chiroptères et d'anticiper les potentiels risques liés à cette industrie récente. Plusieurs articles sur les comportements des chauves-souris dans le contexte éolien voient alors le jour pour essayer de comprendre au mieux les variables les influençant (Kelm et al. 2014, Lacoeuilhe et al. 2016, O'Shea et al. 2016, Heim et al. 2016, Roemer et al.2017, Minderman et al. 2017, Barré 2017).

Ainsi, les variables influençant la mortalité des chiroptères sur les parcs éoliens sont directement reliées à l'activité et aux comportements des chiroptères. La présente étude permet d'analyser et de corroborer les suivis comportementaux des chiroptères en hauteur avec les différents facteurs pouvant l'influencer ainsi que les autres facteurs pouvant influencer la mortalité des chiroptères via les résultats des suivis mortalité au sol. Enfin, cette étude permet également de cibler des solutions pour préserver au mieux les chiroptères dans le contexte éolien.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Description du jeu de données

Le jeu de données est composé de 278 911 données chiroptérologiques (contacts de chiroptères de 5 secondes maximum). Ces données sont enregistrées sur des dispositifs Batmode (S+ ou S2+) installés en nacelle d'éolienne et lors des saisons de 2018 à 2023. Elles sont issues de 25 sites de suivi comprenant une majorité de sites à tendances bocagères puis des sites forestiers ou de grandes cultures. Ces secteurs sont représentatifs du grand centre ouest de la France. Les saisons sont réparties en fonction des différentes phases du cycle biologique des chiroptères, à savoir : les transits printaniers et gestation du 1/03 au 31/05, la mise-bas et élevage des jeunes du 1/06 au 15/08 et les transits automnaux et « swarming » du 16/08 au 31/10.

Type de jeu de données	Type de données	Nombre de données
Jeu de données groupe d'espèces et espèces	Nombre de contacts de Minioptères / Pipistrelles / Vespères sp.	3 132
	Nombre de contacts de Sérotines / Noctules sp.	3 192
	Nombre de contacts de Barbastelle / Murins / Oreillards sp.	522
	Nombre de contacts de Pipistrelle commune	36 971
	Nombre de contacts de Pipistrelle de Kuhl	37 652
	Nombre de contacts de Pipistrelle de Nathusius	2 461
	Nombre de contacts de Grande Noctule	474
	Nombre de contacts de Noctule commune	39 233
	Nombre de contacts de Noctule de Leisler	48 886
	Nombre de contacts de Sérotine commune	6 294
Espèces présentant un jeu de données assez robustes pour les analyses par espèces		

Figure 3 : Détails du jeu de données par espèces mois

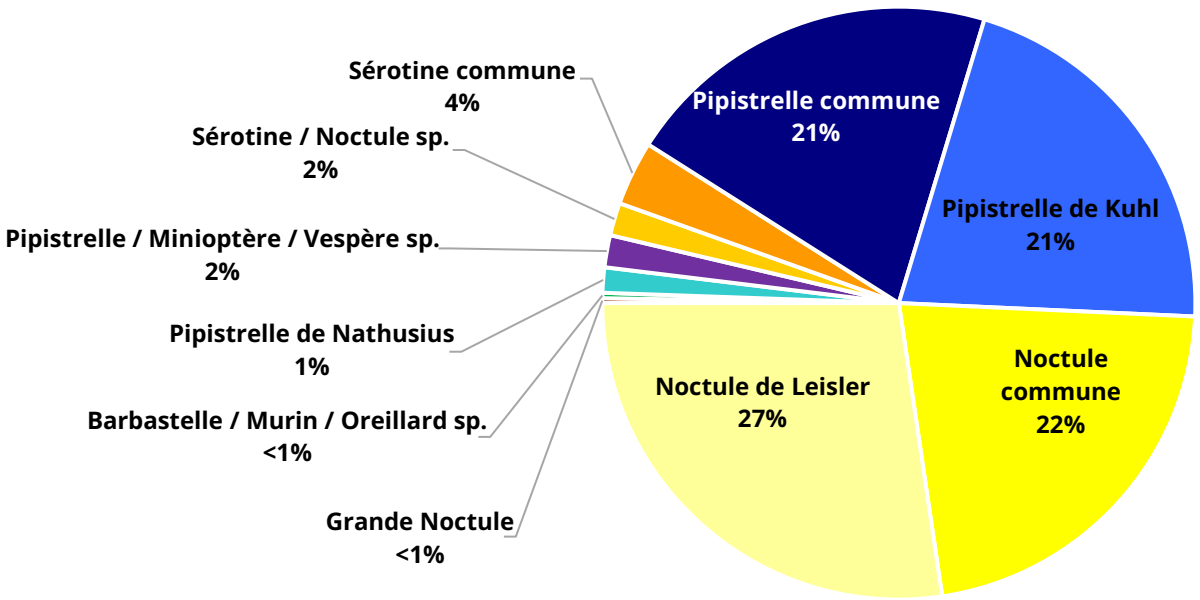


Figure 4 : Répartition des données de contacts de chiroptères en fonction des espèces ou groupes d'espèces

Type de jeu de données	Type de données	Nombre de données
Jeu de données mensuel	Nombre de contacts en Janvier	44
	Nombre de contacts en Février	42
	Nombre de contacts en Mars	435
	Nombre de contacts en Avril	3 797
	Nombre de contacts en Mai	7 245
	Nombre de contacts en Juin	24 936
	Nombre de contacts en Juillet	21 759
	Nombre de contacts en Aout	41 182
	Nombre de contacts en Septembre	50 078
	Nombre de contacts en Octobre	27 252
	Nombre de contacts en Novembre	2 039
	Nombre de contacts en Décembre	8

Figure 5 : Détails du jeu de données par espèces et par mois

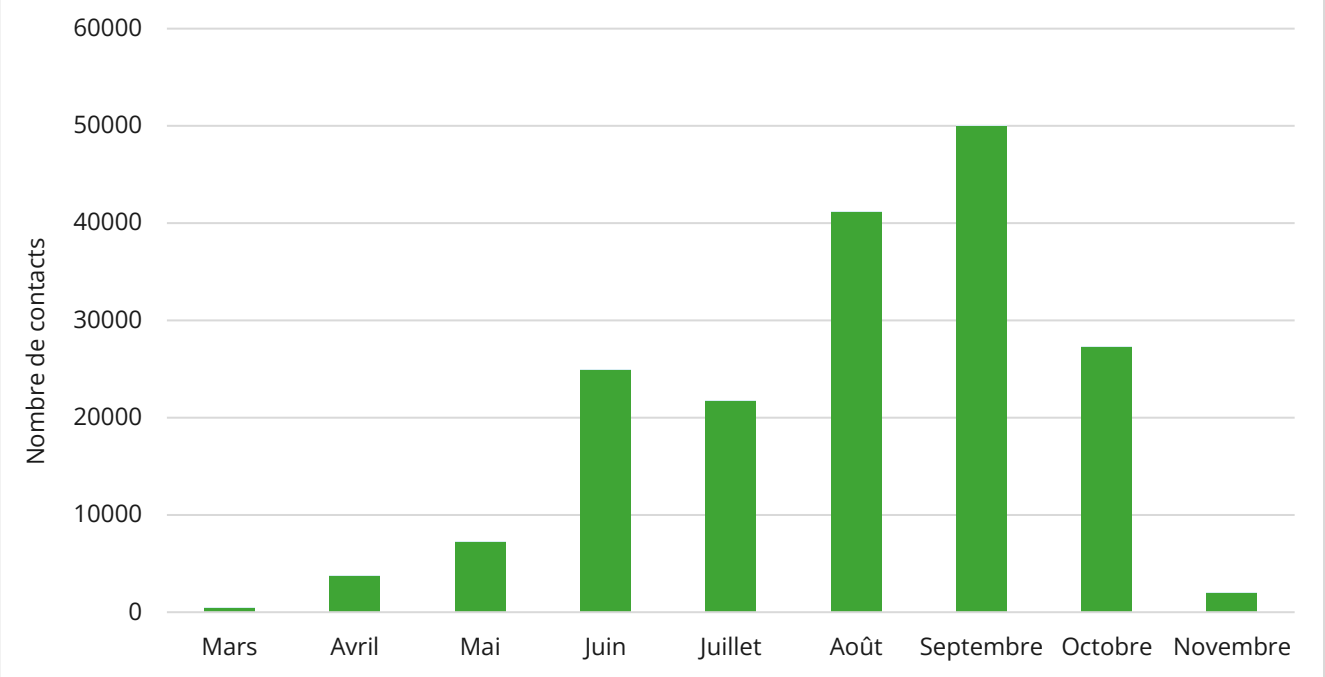


Figure 6 : Répartition des données de contacts de chiroptères en fonction des mois

1.2. Collecte et analyse des sons

Le matériel utilisé est composé d'enregistreurs automatiques d'ultrasons de type Batmode S et Batmode S+, identiquement paramétrés, et équipés de micros étalonnés tous les ans, et dont le fonctionnement est vérifié chaque jour.

Les écoutes débutent une heure avant le coucher du soleil et s'arrêtent une heure après le lever. Les données sont téléchargées mensuellement. Par la suite, l'ensemble des données est converti à l'aide du logiciel Kaléidoscope (Wildlife Acoustics), puis analysé par le logiciel Sonochiro (Biotope), permettant d'obtenir des indices de confiance de 0 à 10 par identification. Une vérification par un chiroptérologue de ces indices, à l'aide du logiciel Batsound, est ensuite mise en place afin d'avoir des proportions d'espèces les plus représentatives possible.

1.3. Attribution des données météorologiques et horaires

Suite à la validation des pistes sonores de chiroptères, les données de vitesse de vent et de température sont associées à chaque son. Parallèlement, les horaires en fonction du coucher et du lever du soleil de chaque localité sont associés à chaque contact de chauves-souris.

1.4. Attribution des données d'habitats

Pour chaque éolienne ayant fait l'objet d'un suivi acoustique des chiroptères un tampon d'un kilomètre autour est créé sous le logiciel de cartographie QGis. Les variables d'habitats prisent en compte sont les assolements de Corine Land Cover 2018 pour les milieux ouverts (prairie, culture, etc.), de la BD Forêt V2 pour les boisements (feuillu, mixte et conifère), de la BD Bocage pour les haies, des réseaux hydrographiques pour les cours d'eau. Chacune de ces données de surface, longueur et proximité sont attribuée à chaque éolienne ayant fait l'objet d'un suivi.

1.5. Collecte et traitement des données de mortalité

Le suivi de mortalité est réalisé sur une surface d'échantillonnage d'un carré d'au moins une centaine de mètres de côté pour chaque éolienne étudiée. Cette longueur, équivalente au diamètre du rotor, permet de parcourir l'ensemble de la zone de survol de des pales. Le chercheur réalise un transect à suivre invariablement à chaque sortie d'inventaire. L'espacement entre les lignes ne devant pas être supérieur à 15 mètres (distance maximale de perception des cadavres par un observateur), les lignes de transect réalisées sont d'une longueur de 10 mètres. Au cours de chaque sortie, une fiche de données est remplie par le chercheur. De plus, chaque cadavre découvert est localisé à l'aide d'un GPS, pris en photo, et l'espèce est déterminée sur place. Dans tous les cas, la découverte d'un cadavre d'oiseau ou de chauves-souris fait l'objet d'une fiche détaillée définie par le Ministère en charge des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Cette fiche permet la saisie standardisée de l'espèce et des conditions de mortalité constatées.

L'estimation de la mortalité doit prendre en compte un certain nombre de paramètres permettant d'intégrer des biais méthodologiques induits par l'espacement temporel des visites.

Plusieurs formules mathématiques, issues de différents protocoles sont utilisables et considérées comme valides (Winkelmann, 1989 ; Erikson, 2000 ; Jones, 2009 ; Huso, 2010 ; Korner, 2011 ; Etterson, 2013). D'une manière générale, outre le nombre de cadavres trouvés, plusieurs variables sont à évaluer :

- l'efficacité de la personne recherchant les cadavres au sol (taux de détection),

- le taux de prélèvement des cadavres par les animaux charognards (taux de prédation),

- l'intervalle des visites sur site,

- les surfaces non-prospectables (contraintes liées au couvert végétal, au dénivelé, à la maîtrise foncière, etc.).

- l'indice de confiance qui regroupe les résultats de toutes ces variables et établie les seuils de significativité.

1.6. Attribution des données de mortalité

Pour chaque donnée de mortalité brute, un facteur de mortalité codé en oui/non a été attribué à l'éolienne et à la semaine. Seuls les cadavres « frais » de chiroptères ont été sélectionné.

1.7. Analyses menées sur le jeu de données

- Analyses graphique des variables

Dans un premier temps, sur l'ensemble des variables pouvant influencer l'activité des chiroptères (Semaine, Jour, Vent, Température, Heure de la nuit, Proximité d'habitats favorables, Surface d'habitats dans rayon d'un kilomètre) des ACP ont été réalisées afin de comprendre la répartition des contacts de chiroptères en fonction de ces variables.

- Analyses statistiques des variables

Afin, de définir les variables influençant le plus l'activité des chiroptères des tests statistiques ont été menés. Ces tests sont des modèles de régressions linéaires multiples mixtes, avec la mise en place d'anova et tests de corrélation. Des tests complémentaire de comparaison deux à deux via des régressions linéaires et des tests de Tukey ont été également réalisé pour certaines variables.

1.8. Limites de l'étude

Au cours de cette étude certaines limites sont apparues :

- la présence de parasites et la fiabilité d'identification ;

- la localité des sites d'études : cette analyse est plutôt représentative du centre-ouest de la France et ne sera pas forcément transposable à l'échelle de l'aire biogéographique ;

- la sous représentativité de l'hiver et du printemps : cette étude étant basée sur des suivis de l'activité en hauteur, la période d'étude démarre généralement en mars et fini en octobre.

Limites méthodologiques	Réduction de la limite
Présence de parasites et fiabilité d'identification	Vérification poussée par un chiroptérologue via Batsound
Localisation des sites d'études et des éoliennes	Représentatif du centre ouest de la France
	Ne pas extrapoler à l'aire biogéographique
Printemps et hiver sous représentés	Jeu de données important
	Pas de conclusion stables sur les périodes printanière et hivernale incomplètes

Figure 7 : Réduction des limites méthodologiques

2. RÉSULTATS

2.1. Analyse multivariée de l'influence de l'ensemble des variables sur l'activité des chiroptères

2.1.1. Analyse globale

Afin, d'observer au mieux le jeu de données, des ACP ont été réalisées sur l'ensemble des données. Le graphique suivant affiche les différentes variables sur deux dimensions (40 % explained variances). Ainsi, la majorité des variables apparaissent très explicatives pour le jeu de données. Les variables d'habitats apparaissent comme les plus explicatives du jeu de données. Ainsi, les variables de linéaires du réseau hydrographique (Long_Hydro) et de surface de forêt (Surf_Foret) sont très explicatives du jeu de données. Les variables de surface de milieu ouvert (Surf_M_Ouvert) et de linéaire de haie (Long_Haie) sont également bien représentées. La variable météorologique de température (Classe_T) et la variable périodique de semaine (Semaine) représentent modérément le jeu de données. Enfin les variables de vitesse de vent (Classe_V) et du temps écoulé au cours de la nuit (Classe_H) sont les moins bien représentées par ce cercle de corrélation. Enfin, hormis les variables temporelles entre elle, l'ensembles des variables sont indépendantes entre elles.

Les tests statistiques menés sur l'ensemble du jeu de données affichent une influence significative pour l'ensemble des variables. Avec une influence positive des variables de températures et de semaine au cours de l'année et une influence négative de la vitesse de vent, de l'heure au cours de la nuit, de la surface de milieu ouvert et dans une moindre mesure de la surface de forêt.

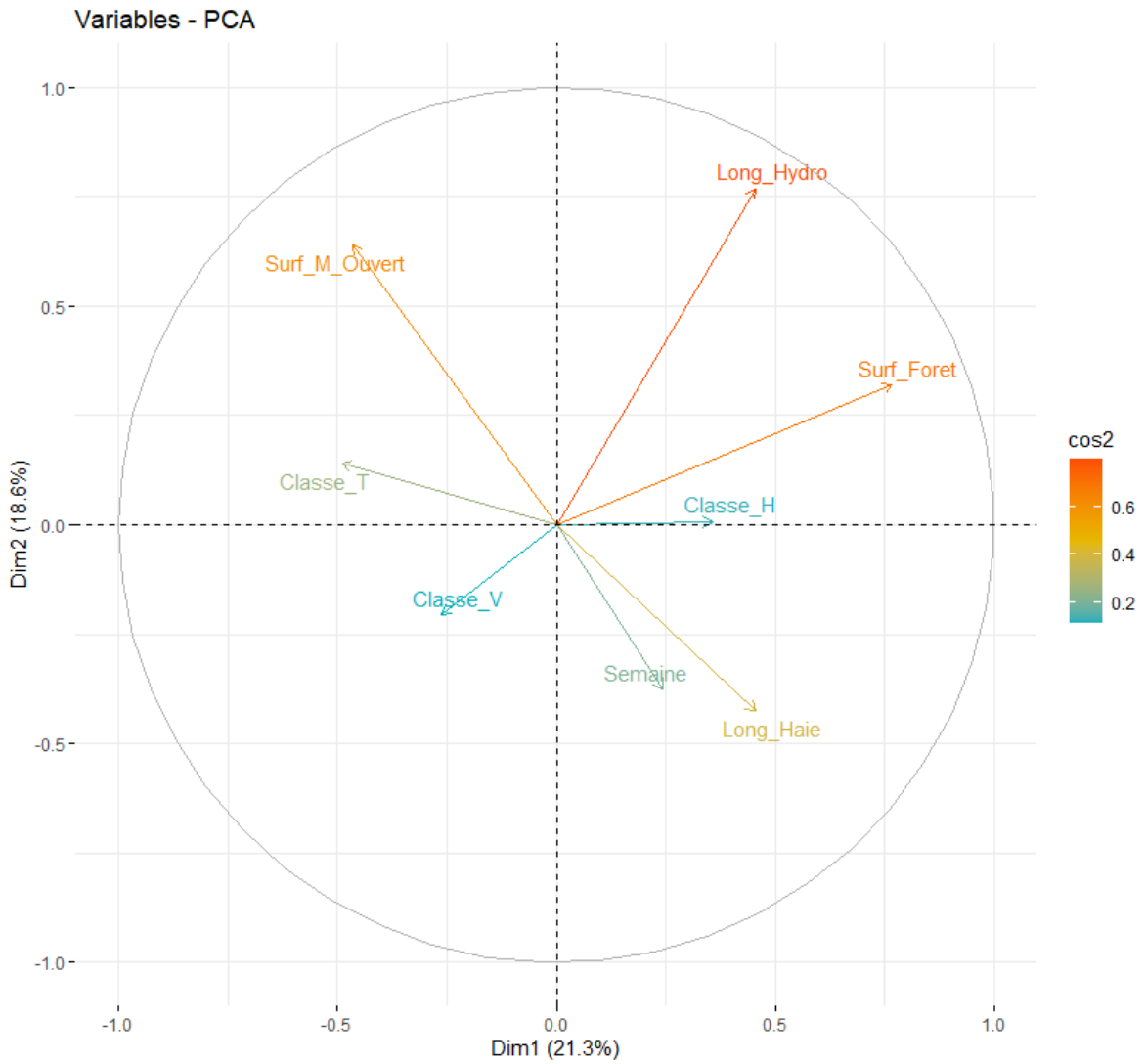


Figure 8 : Cercle de corrélation de l'analyse en composante principale (ACP) sur l'ensemble des variables

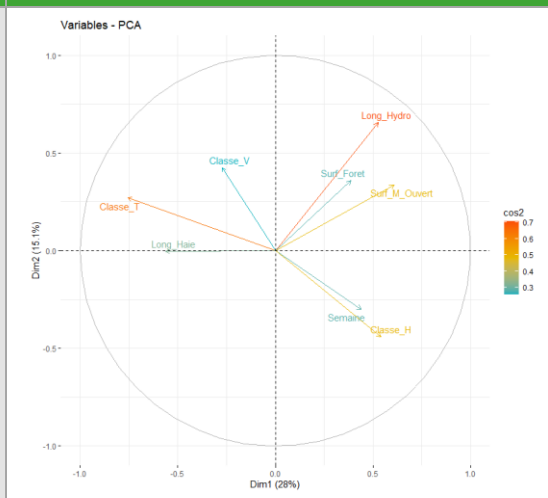
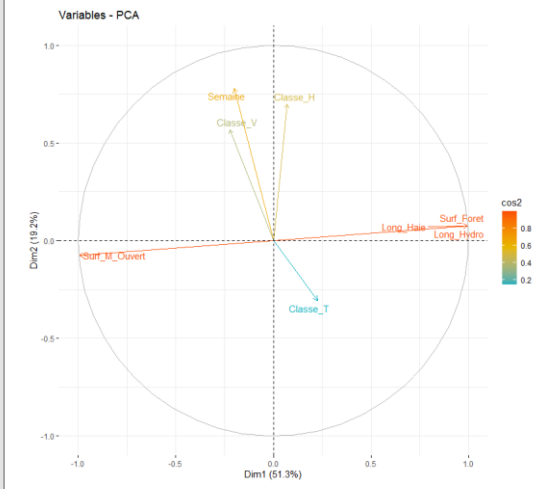
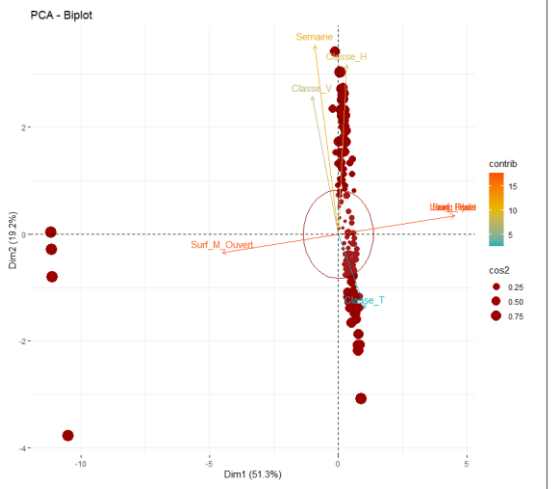
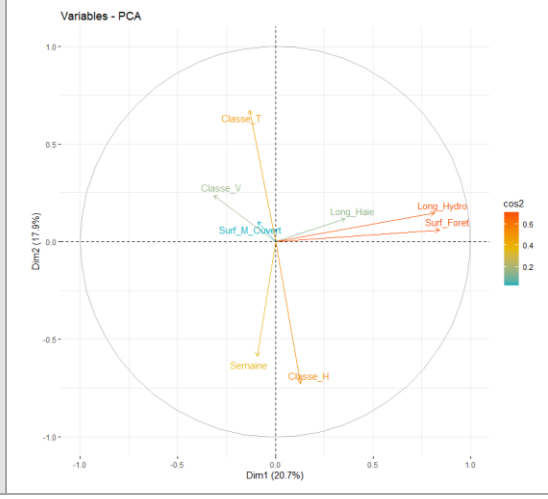
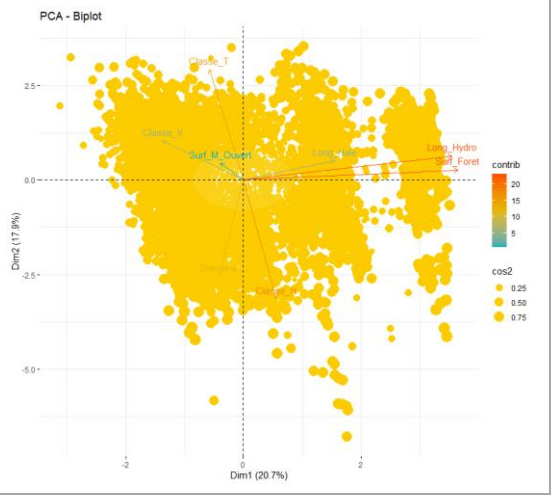
2.1.2. Analyse par espèces

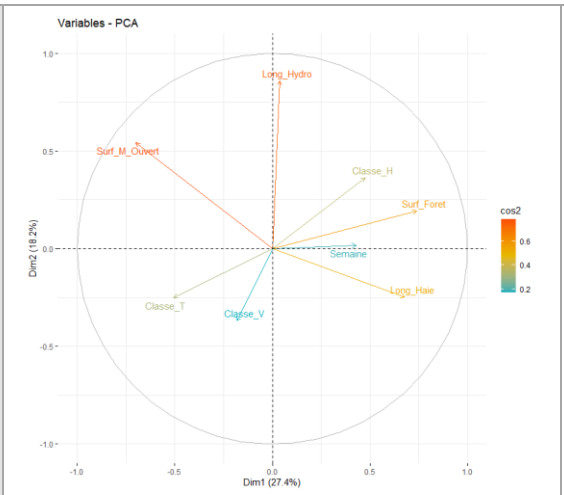
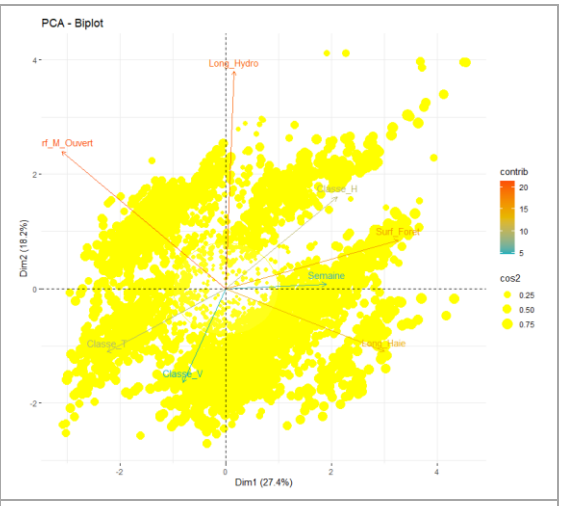
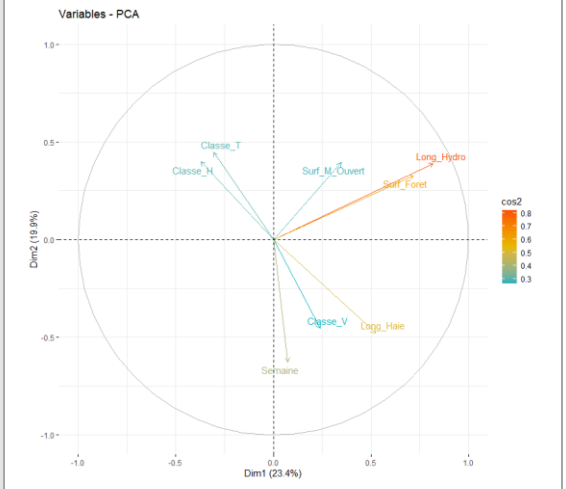
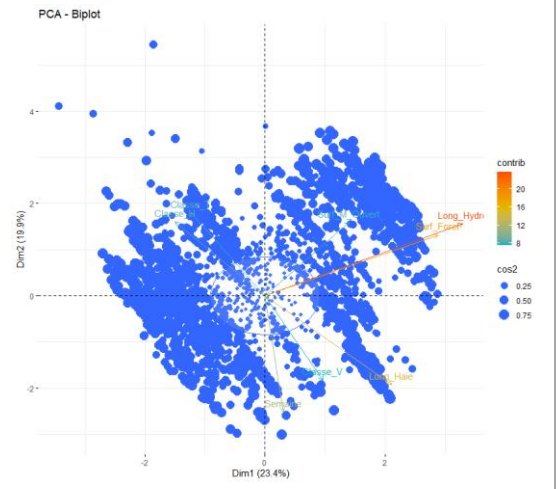
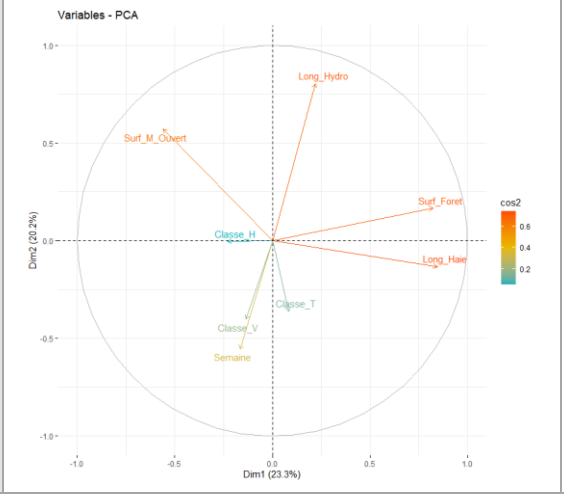
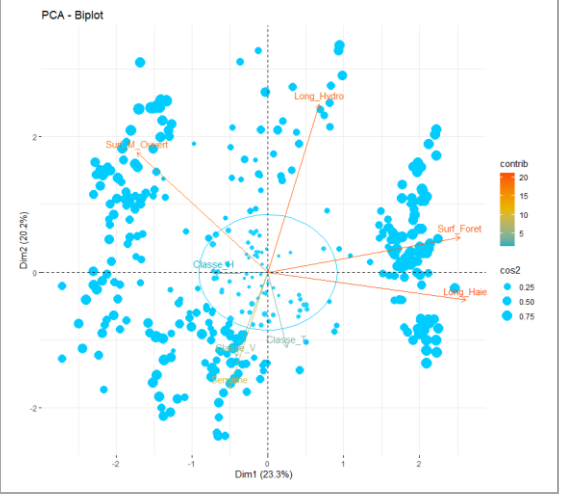
Lorsque l'on observe la répartition des contacts de chiroptères par espèces en fonction de ces différentes variables (graphiques suivants), il apparait que pour l'ensemble des espèces les variables les plus explicatives sont les variables liées aux habitats.

Dans un second temps, la répartition des contacts pour la majorité des espèces est expliquée par les variables liées aux habitats, plutôt que par les variables météorologiques et temporelles. Ainsi, la majorité des espèces affichent parmi les variables les plus explicatives :

- la longueur du réseau hydrographique ainsi que la surface de forêt pour la Grande Noctule, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle commune ;
- la surface de milieu ouvert pour la Grande Noctule et la Noctule commune.

À noter également que la longueur de haie est une variable très explicative pour la Grande Noctule et la Pipistrelle de Nathusius. La température affiche également une forte explicativité pour le jeu de données de la Sérotine commune. Les autres variables apparaissent comme moins explicatives pour la majorité des espèces.

Influence par espèces	Graphiques d'Analyses en Composantes Principales – Ensemble des variables	
Sérotine commune		
Grande Noctule		
Noctule de Leisler		

Noctule commune		
Pipistrelle de Kuhl		
Pipistrelle de Nathusius		

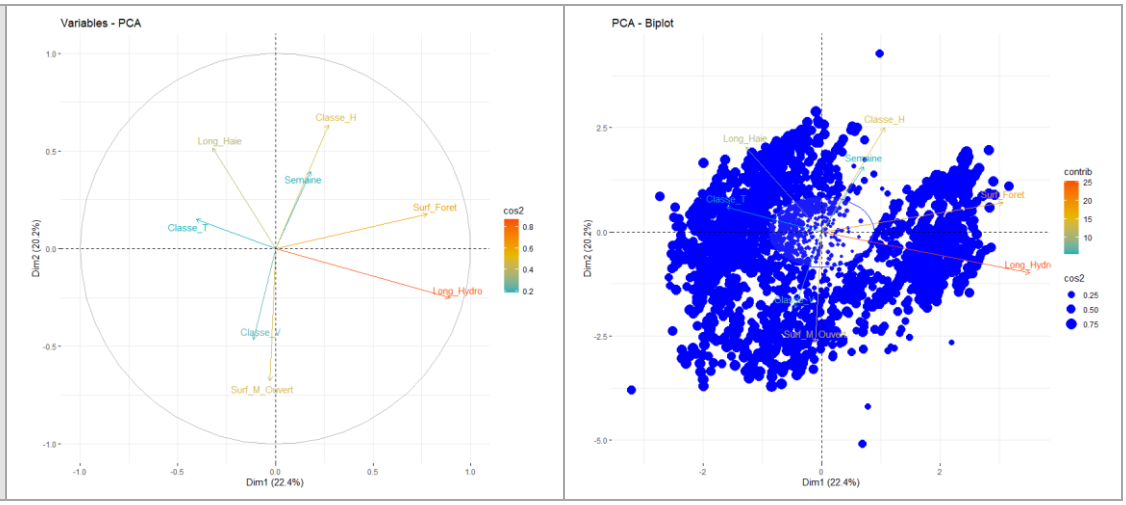
Pipistrelle commune	

Figure 9 : ACP sur l'activité des chiroptères par espèces ou groupe d'espèces en fonction de l'ensemble des variables

Le tableau suivant synthétise les résultats des tests statistiques menés sur les données présentées ci-dessus.

L'ensemble des espèces affichent une influence significative négative de la vitesse de vent. Les trois espèces de pipistrelles affichent une influence significative positive de la semaine au cours de l'année. Les autres résultats sont plus partagés en fonction des espèces. L'heure de la nuit à une influence positive significative pour la Sérotine commune, la Grande Noctule et la Pipistrelle commune alors que cette influence est négative pour la Noctule de Leisler, la Noctule commune, la Pipistrelle de Kuhl et la Pipistrelle de Nathusius. La température montre une influence positive significative sur l'activité de la Sérotine commune, la Noctule de Leisler et la Noctule commune et une influence négative pour la Pipistrelle de Kuhl. Enfin, la surface de milieu ouvert à une influence significative négative sur la majorité des espèces et à l'inverse une influence positive pour la Noctule commune et la Pipistrelle commune. Des résultats similaires sont observables sur la surface de forêt avec une influence significative négative sur la majorité des espèces et significative positive pour la Noctule de Leisler et la Pipistrelle commune.

Les résultats sont non significatifs pour la semaine pour la Sérotine commune, la Grande Noctule, la Noctule de Leisler et la Noctule commune ; pour la température pour la Grande Noctule, la Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle commune ; pour la surface de milieu ouvert et de forêt pour la Grande Noctule.

Espèce/Variable	Semaine	Heure de la nuit	Température	Vitesse de vent	Surface de milieu ouvert	Surface de Foret
Sérotine commune	p-v=0,1	p-v=0,0002	p-v=6,21^{e-5}	p-v=0,004	p-v=0,03	p-v=0,006
Grande Noctule	p-v=0,3	p-v=0,0002	p-v=0,1	p-v=0,003	NA	p-v=0,5
Noctule de Leisler	p-v=0,1	p-v=1,7^{e-6}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=0,01
Noctule commune	p-v=0,3	p-v=1,18^{e-11}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=4,55^{e-12}	p-v=3,38^{e-12}
Pipistrelle de Kuhl	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}
Pipistrelle de Nathusius	p-v=0,001	p-v=2,1^{e-8}	p-v=0,06	p-v=0,0002	p-v=1,78^{e-10}	p-v=2,48^{e-9}
Pipistrelle commune	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=0,2	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,48^{e-6}	p-v=2,2^{e-16}
p-v = p-value : valeur de la significativité (inférieure à 0,05) *Influence non significative / Influence significative positive / Influence significative négative*						

Figure 10 : Résultats des tests statistiques par espèce ou groupe d'espèces en fonction de l'ensemble des variables

2.2. Analyse multivariée de l'influence des variables météorologiques et temporelles sur l'activité des chiroptères

2.2.1. Analyse globale

Afin, d'observer au mieux le jeu de données des ACP ont été réalisées sur les données météorologiques et temporelles. Le graphique suivant affiche les différentes variables sur deux dimensions (60 % explained variances). Ainsi, la majorité des variables apparaissent très explicatives pour le jeu de données. La variable de la vitesse de vent (Classe_V) apparait comme la plus explicative du jeu de données. Les variables temporelles du temps écoulé au cours de la nuit (Classe_H) et de la semaine sont également très explicatives du jeu de données. Enfin la variable de température (Classe_T) est la moins bien représentée par ce cercle de corrélation. Enfin, l'ensemble des variables sont indépendantes entre elles.

Les tests statistiques menés sur l'ensemble du jeu de données affichent une influence significative pour l'ensemble des variables. Avec une influence positive des variables de températures et de semaine au cours de l'année et une influence négative de la vitesse de vent, de l'heure au cours de la nuit.

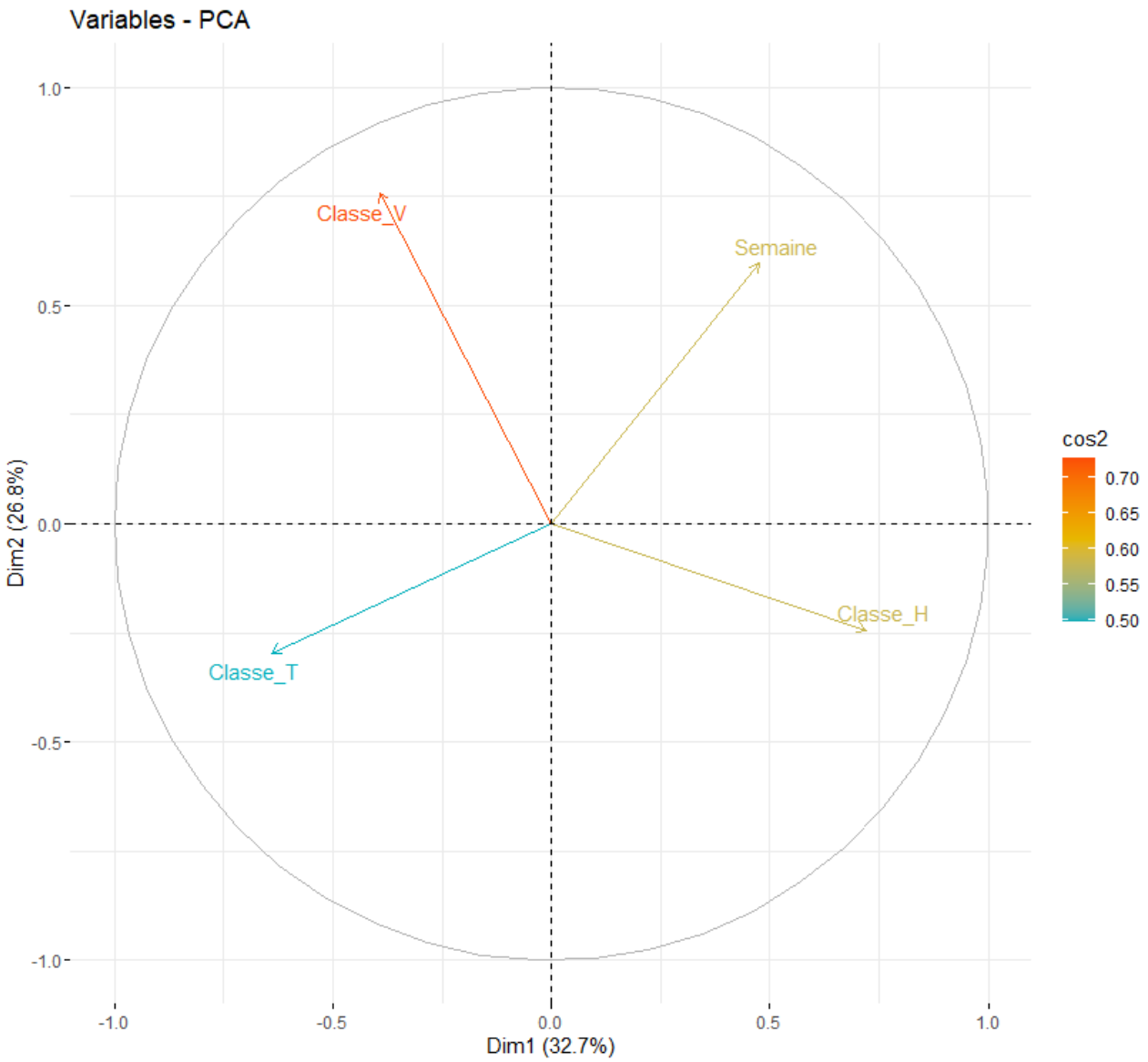
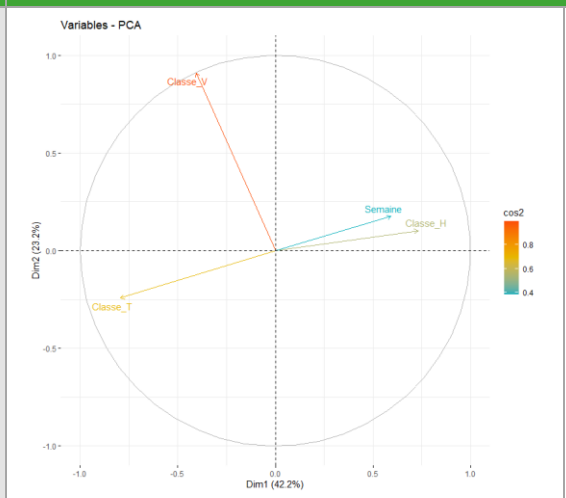
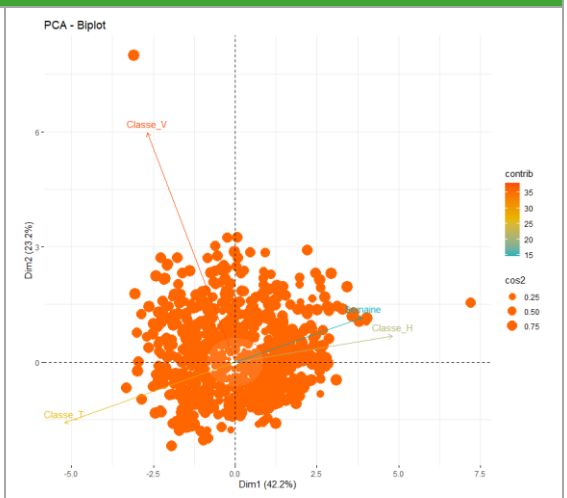
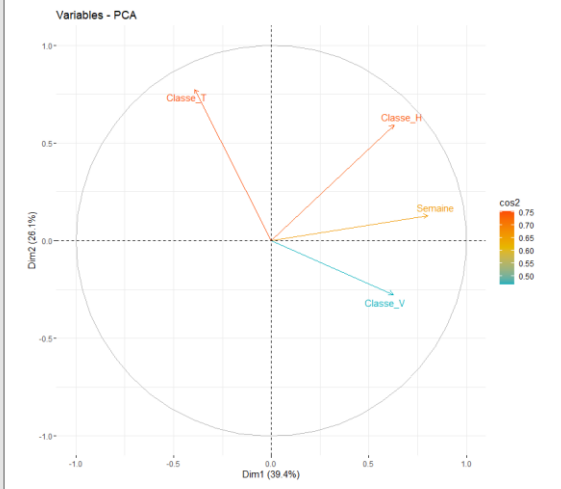
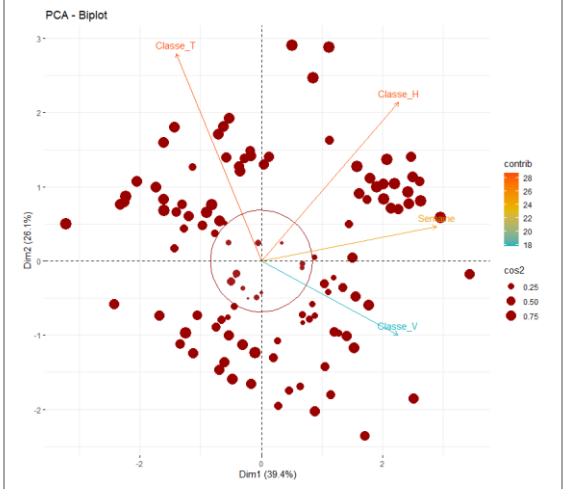
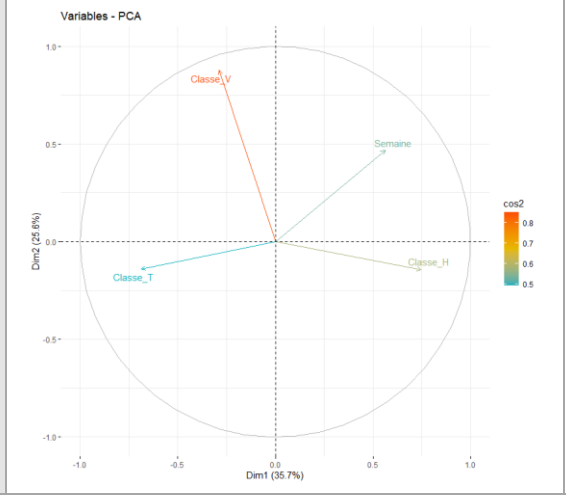
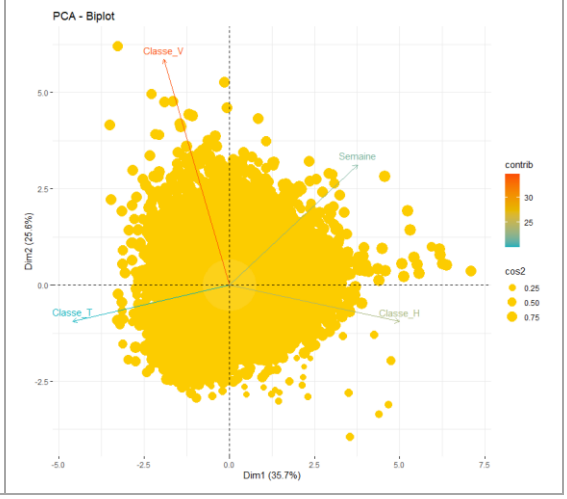


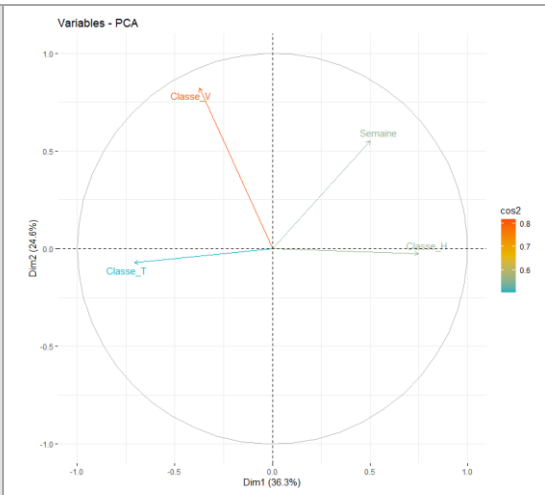
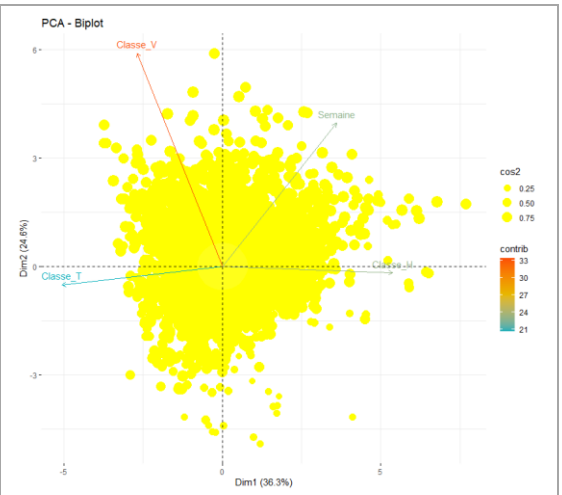
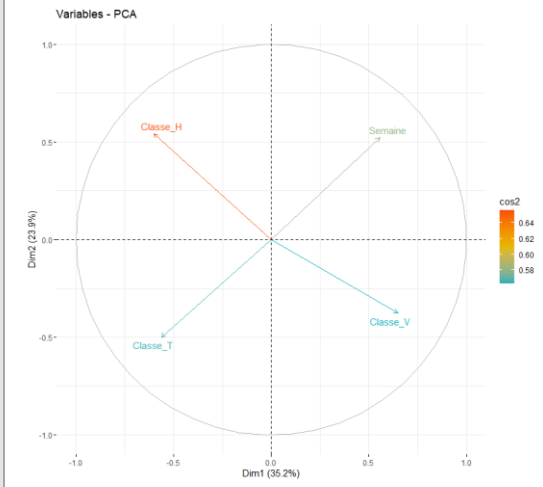
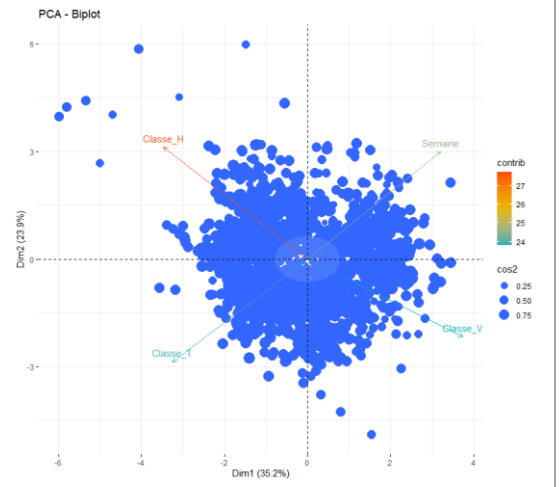
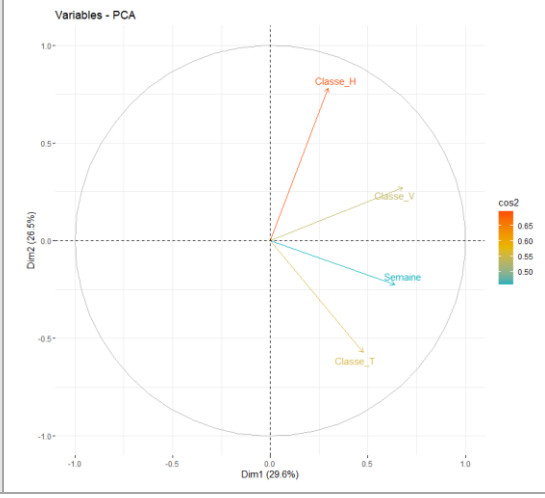
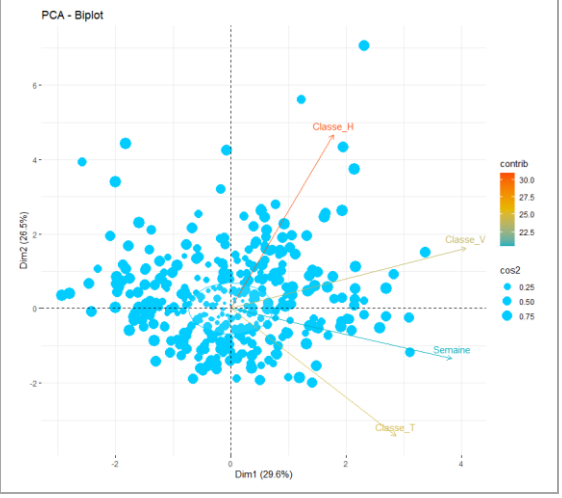
Figure 11 : Cercle de corrélation de l'analyse en composante principale (ACP) sur les variables météorologiques et temporelles

2.2.2. Analyse par espèces

Lorsque l'on observe la répartition des contacts de chiroptères par espèces en fonction de ces différentes variables (graphiques suivants), il apparait que pour l'ensemble des espèces, les variables les plus explicatives sont les variables de vitesse de vent et d'heure au cours de la nuit (Classe_V et Classe_H).

Dans un second temps, la répartition des contacts pour la majorité des espèces, est expliquée par les variables de température et de semaine au cours de l'années (Classe_T et Semaine).

Influence par espèces	Graphiques d'Analyses en Composantes Principales – Variables météorologiques et temporelles	
Sérotine commune		
Grande Noctule		
Noctule de Leisler		

Noctule commune		
Pipistrelle de Kuhl		
Pipistrelle de Nathusius		

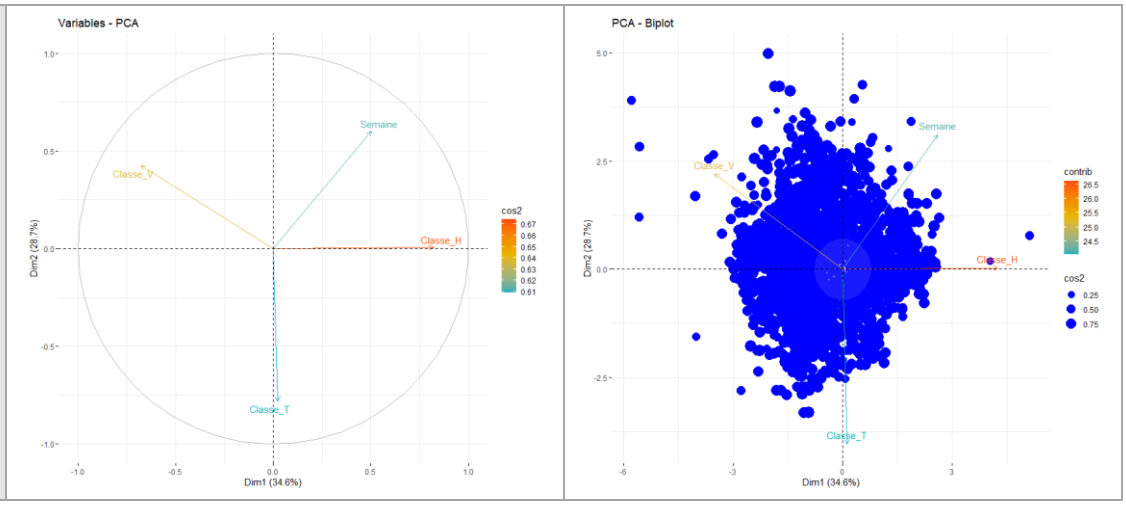
Pipistrelle commune	

Figure 12 : ACP sur l'activité des chiroptères par espèces ou groupe d'espèces en fonction des variables météorologiques et temporelles

Le tableau suivant synthétise les résultats des tests statistiques menés sur les données présentées ci-dessus.

La majorité des espèces affichent une influence significative positive de la semaine au cours de l'année et de la température et une influence significative négative de l'heure au cours de la nuit et de la vitesse de vent.

À noter une influence significative positive de l'heure de la nuit pour la Pipistrelle commune et une influence significative négative de la température pour le Pipistrelle de Kuhl.

Les résultats sont non significatifs sur la semaine pour la Sérotine commune, la Grande Noctule et la Noctule commune, sur l'heure de la nuit pour la Sérotine commune et sur la température pour la Grande Noctule et la Pipistrelle commune.

Espèce/Variable	Semaine	Heure de la nuit	Température	Vitesse de vent
Sérotine commune	p-v=0,2	p-v=0,5	p-v=7,87^{e-9}	p-v=6,96^{e-13}
Grande Noctule	p-v=0,3	p-v=0,0003	p-v=0,1	p-v=0,002
Noctule de Leisler	p-v=8,93^{e-5}	p-v=8,42^{e-12}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}
Noctule commune	p-v=0,6	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}
Pipistrelle de Kuhl	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}
Pipistrelle de Nathusius	p-v=0,0005	p-v=1,59^{e-9}	p-v=0,02	p-v=0,0005
Pipistrelle commune	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=0,3	p-v=2,2^{e-16}

Figure 13 : Résultats des tests statistiques par espèce ou groupe d'espèces en fonction des variables météorologiques et temporelles

2.3. Analyse multivariée de l'influence des variables de proximité d'habitats attractifs sur l'activité des chiroptères

2.3.1. Analyse globale

Afin, d'observer au mieux le jeu de données des ACP ont été réalisées sur les variables de proximité d'habitats attractifs. Le graphique suivant affiche les différentes variables sur deux dimensions (91 % explained varainces). Ainsi, la majorité des variables apparaissent très explicatives pour le jeu de données. La variable de la proximité des forêts (Proxi_Forêt) apparait comme la plus explicative du jeu de données. La variable de proximité aux haies (Proxi_Haie) est très explicative du jeu de données. Enfin la variable de proximité au réseau hydrographique (Proxi_Hydro) est la moins bien représentée par ce cercle de corrélation.

Les tests statistiques menés sur l'ensemble du jeu de données affichent une influence significative pour l'ensemble des variables. Avec une influence négative de l'éloignement à l'ensemble des habitats attractifs.

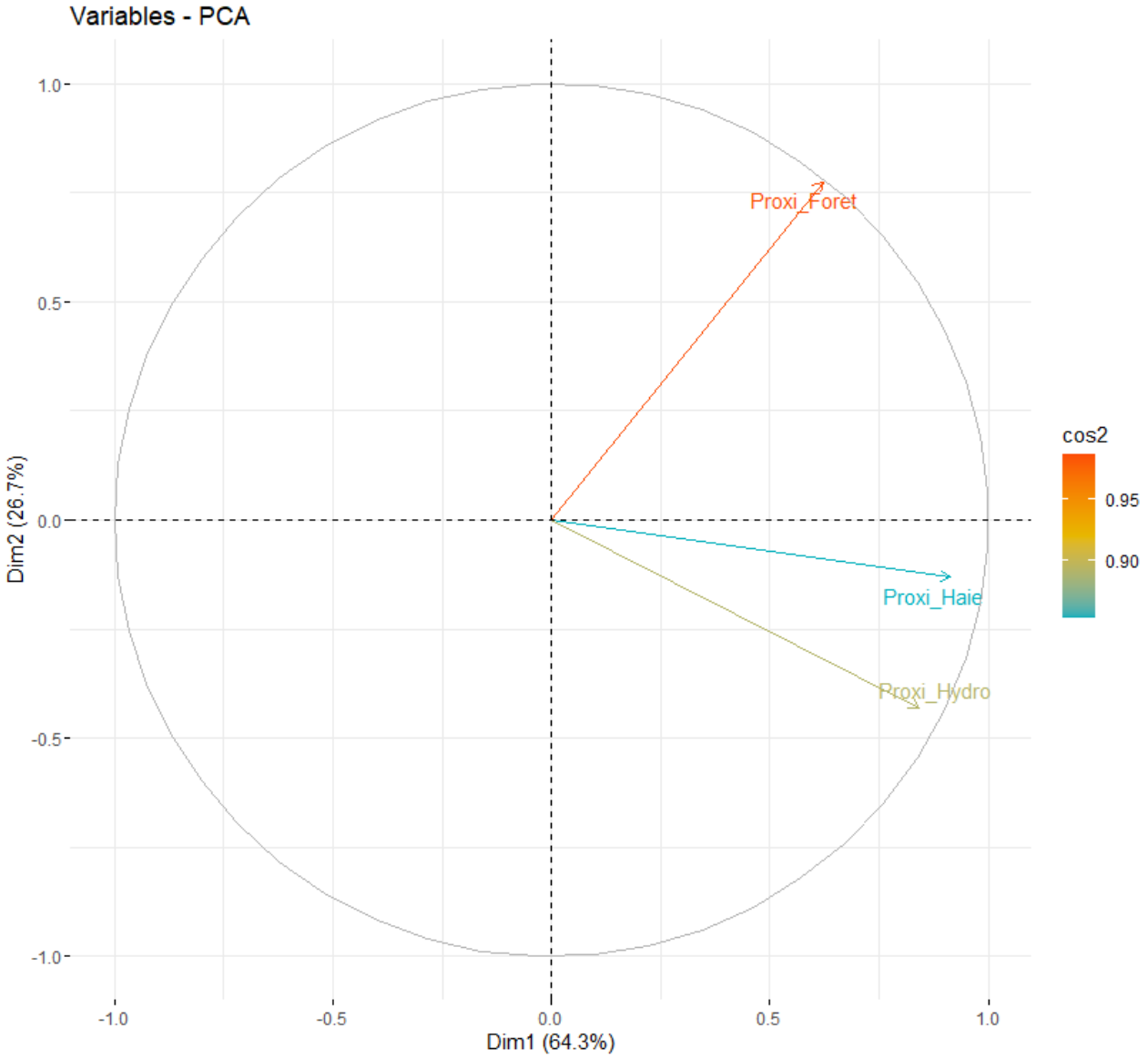


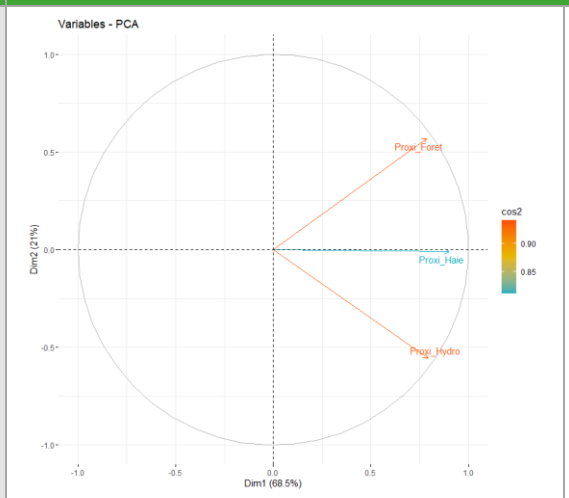
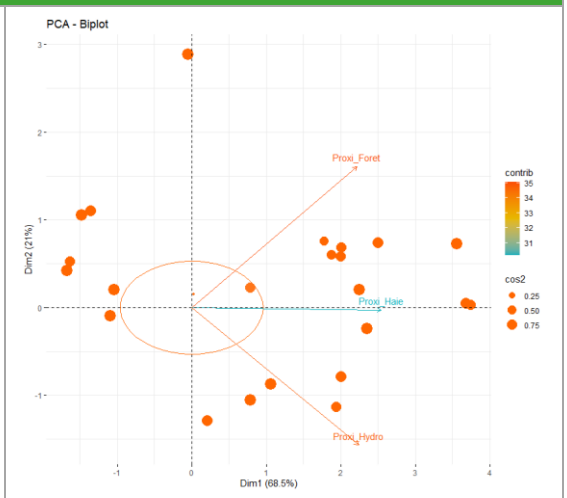
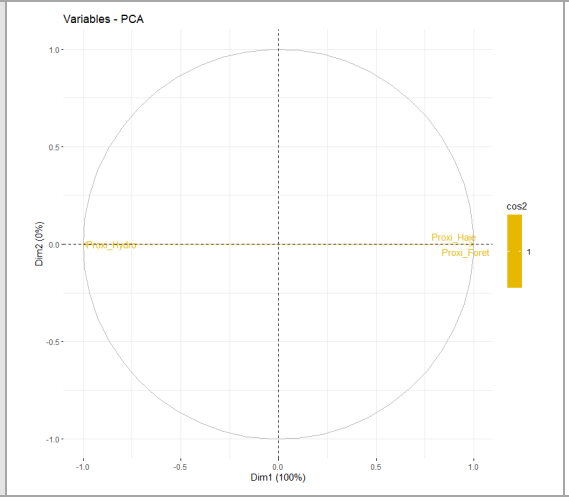
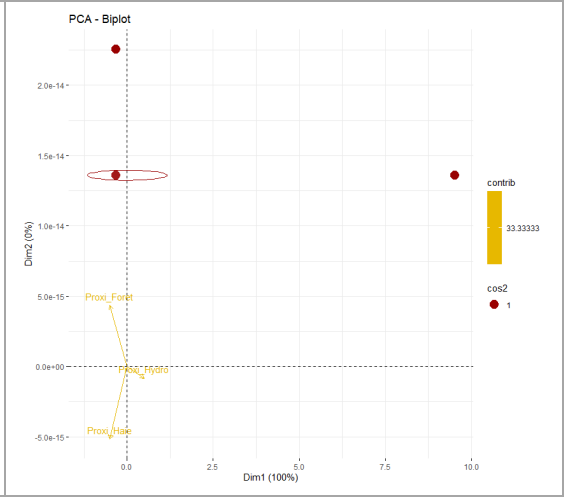
Figure 14 : Cercle de corrélation de l'analyse en composante principale (ACP) sur les variables de proximité d'habitats attractifs

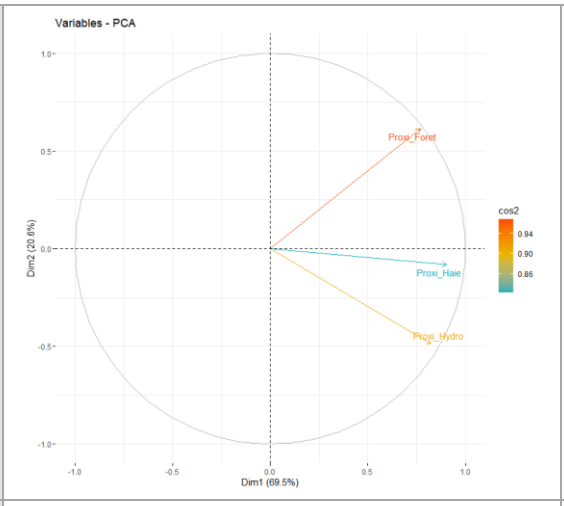
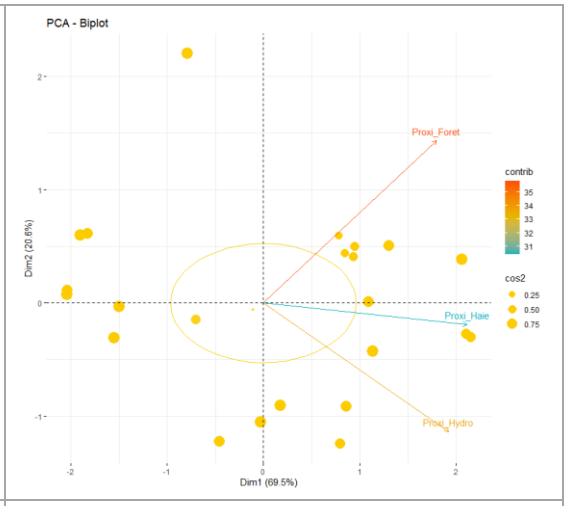
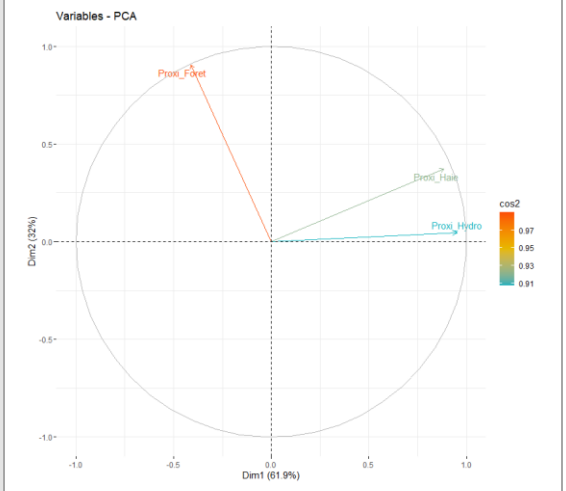
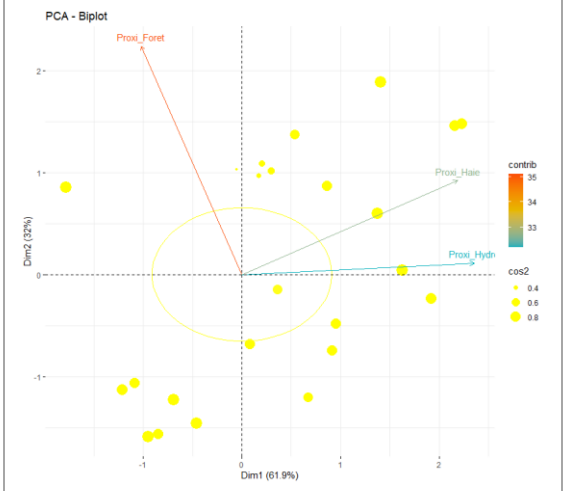
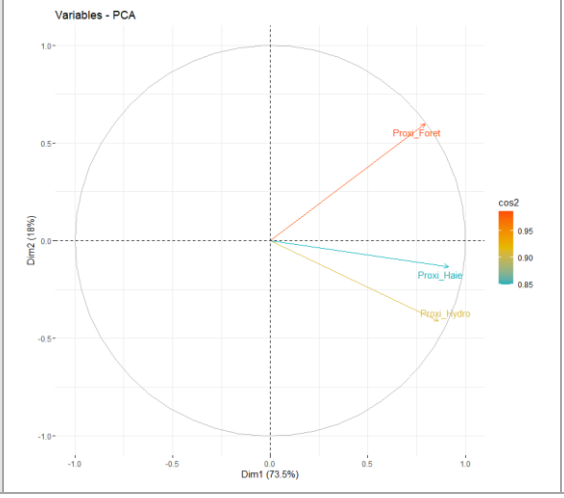
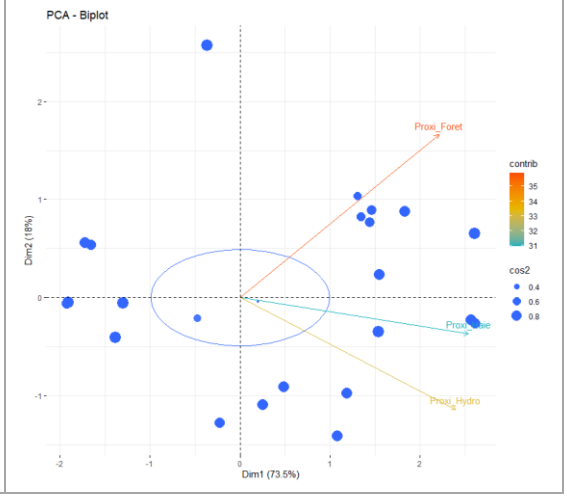
2.3.2. Analyse par espèces

Lorsque l'on observe la répartition des contacts de chiroptères par espèces en fonction de ces différentes variables (graphiques suivants), il apparait que pour l'ensemble des espèces la variable la plus explicative est la proximité aux forêts (Proxi_Foret).

Dans un second temps, la répartition des contacts pour la majorité des espèces est expliquée par le variable de proximité au réseau hydrographique (Proxi_Hydro). Enfin, la variable apparaissant la moins explicative est la proximité aux haies (Proxi_Haie).

À noter que les résultats obtenus pour l'ACP de la Grande Noctule ne sont pas interprétables certainement par manque de représentativité du jeu de données sur la variable de proximité d'habitats attractifs.

Influence par espèces	Graphiques d'Analyses en Composantes Principales – Variables de proximité d'habitats attractifs	
Sérotine commune		
Grande Noctule		

Noctule de Leisler		
Noctule commune		
Pipistrelle de Kuhl		

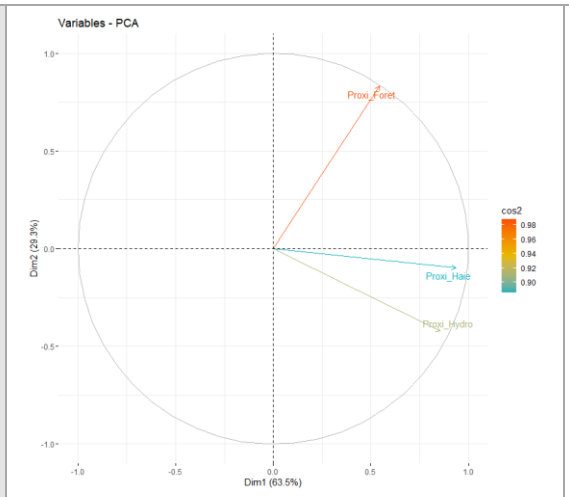
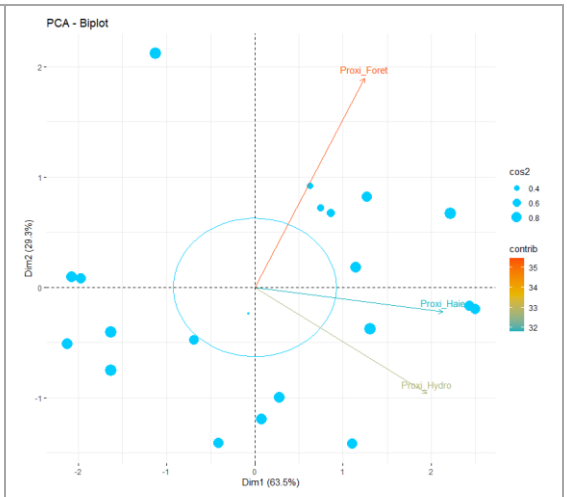
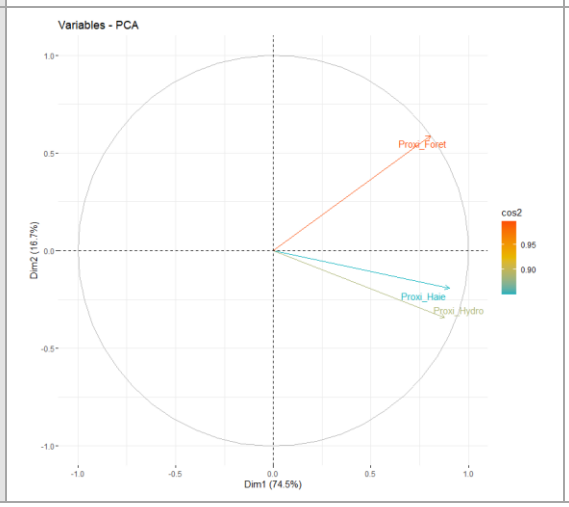
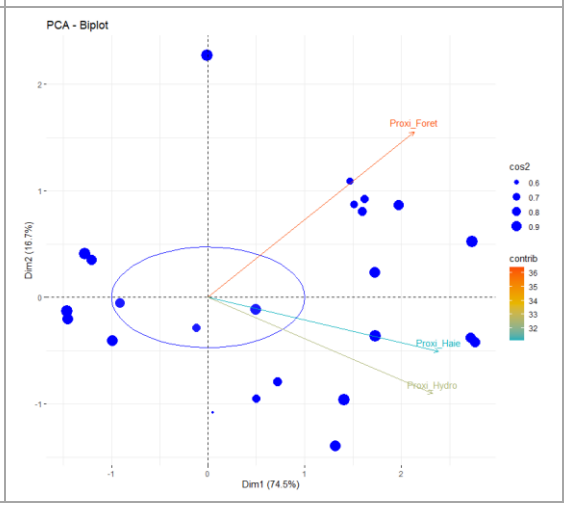
Pipistrelle de Nathusius		
Pipistrelle commune		

Figure 15 : ACP sur l'activité des chiroptères par espèces ou groupe d'espèces en fonction des variables de proximité d'habitats attractifs

Le tableau suivant synthétise les résultats des tests statistiques menés sur les données présentées ci-dessus.

Les résultats obtenus en fonction des espèces sont variables. Ainsi, l'éloignement aux boisements montre une influence significative négative pour la Sérotine commune, la Pipistrelle de Kuhl et la Pipistrelle commune qui sont plutôt des espèces de lisières et à l'inverse une influence significative positive pour la Noctule commune et la Pipistrelle de Nathusius qui sont plus des espèces « haut-vol » s'affranchissant plus facilement des corridors. Concernant l'éloignement aux haies, la majorité des espèces affichent une influence significative négative à cette variable hormis pour la Noctule commune et la Pipistrelle commune. Enfin, l'éloignement au réseau hydrographique exerce une influence significative positive sur la Sérotine commune, la Noctule de Leisler et la Pipistrelle de Kuhl et une influence significative négative sur la Noctule commune et la Pipistrelle commune.

Les résultats sont non significatifs sur l'éloignement aux forêts pour la Grande Noctule et la Noctule de Leisler et sur l'éloignement au réseau hydrographique pour la Grande Noctule et la Pipistrelle de Nathusius.

Espèce/Variable	Éloignement aux forêts	Éloignement aux haies	Éloignement au réseau hydrographique
Sérotine commune	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}
Grande Noctule	NA	p-v=2,2^{e-16}	NA
Noctule de Leisler	p-v=0,8	p-v=2,2^{e-16}	p-v=9,68^{e-14}
Noctule commune	p-v=2,2^{e-16}	p-v=3,6^{e-11}	p-v=2,2^{e-16}
Pipistrelle de Kuhl	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=0,01
Pipistrelle de Nathusius	p-v=0,003	p-v=4,82^{e-5}	p-v=0,6
Pipistrelle commune	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}

Figure 16 : Résultats des tests statistiques par espèce ou groupe d'espèces en fonction des variables de proximité d'habitats attractifs

2.4. Analyse multivariée de l'influence des variables surfacique d'habitats naturels environnant sur l'activité des chiroptères

2.4.1. Analyse globale

Afin, d'observer au mieux le jeu de données des ACP ont été réalisées sur l'ensemble des données surfacique d'habitats. Le graphique suivant affiche les différentes variables sur deux dimensions (70 % explained variances). Ainsi, la majorité des variables apparaissent très explicatives pour le jeu de données. Les variables de surface de boisements de feuillus et mixte (Surf_Feuillu et Surf_Mixte) apparaissent comme les plus explicatives du jeu de données. Les variables de longueur du réseau hydrographique (Long_Hydro), de surface de conifères (Surf_Conif) et de surfaces de cultures (Surf_Culture) sont également bien représentées du jeu de données. Les variables de longueur de haie (Long_Haie) et de surfaces de prairies (Surf_Prairie) sont modérément représentées.

Hormis les variables de surface de boisements de mixte et de conifères ainsi que la longueur du réseau hydrographique qui apparaissent corrélées entre elles, les autres variables sont indépendantes entre elles.

Les tests statistiques menés sur l'ensemble du jeu de données affichent une influence significative pour l'ensemble des variables surfaciques d'habitats. Avec une influence positive des variables de longueur de haie, de longueur du réseau hydrographique, de la surface de boisement de conifères, de la surface de culture été de la surface de prairie et une influence négative de la surface de boisement de feuillus et de la surface de boisements mixte.

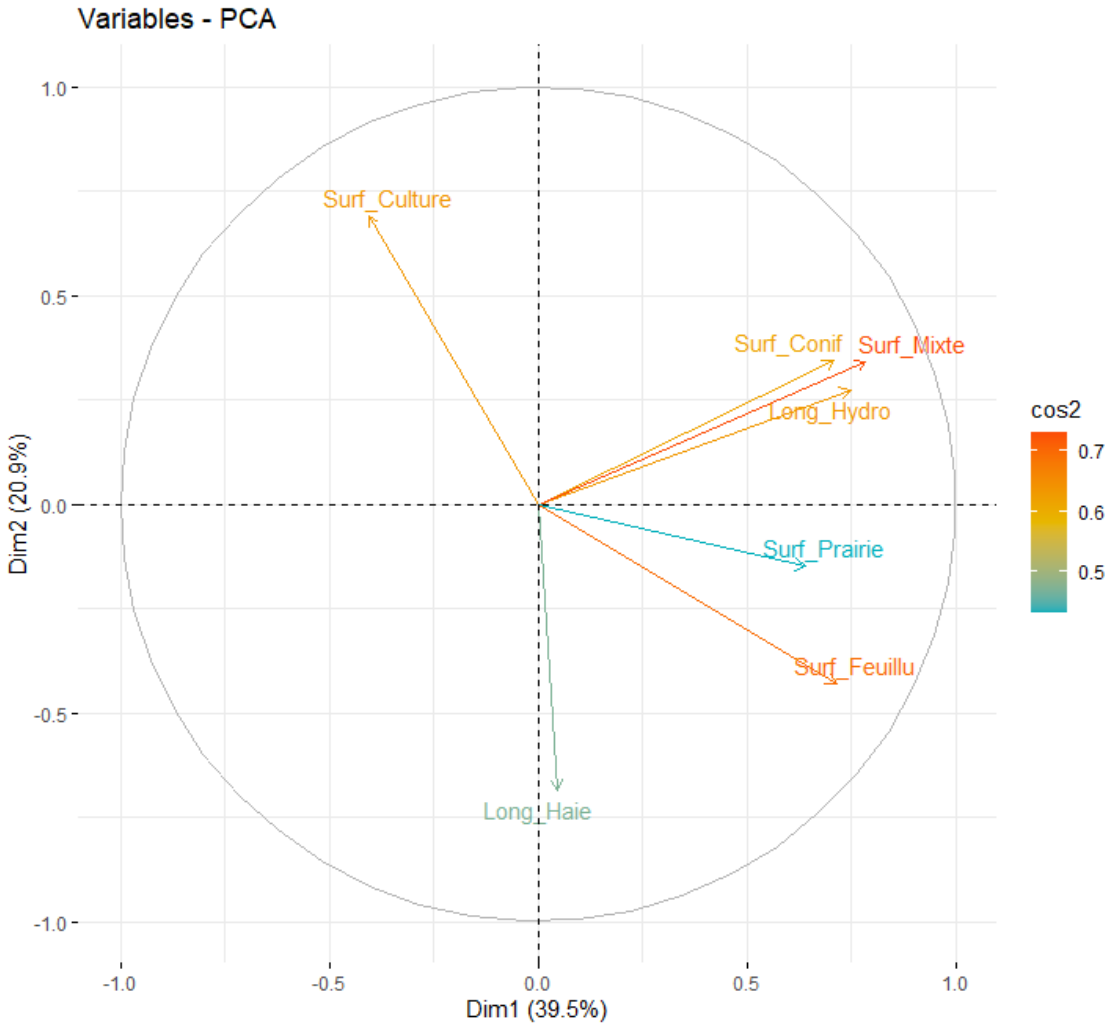
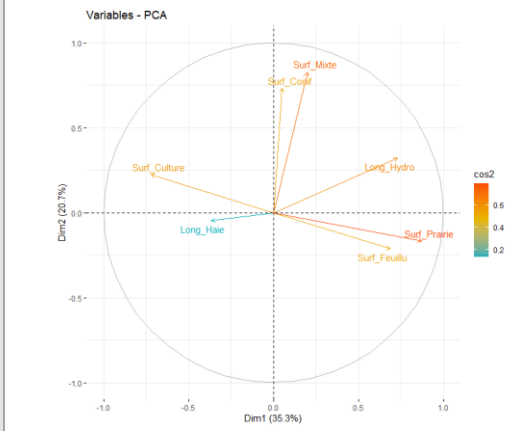
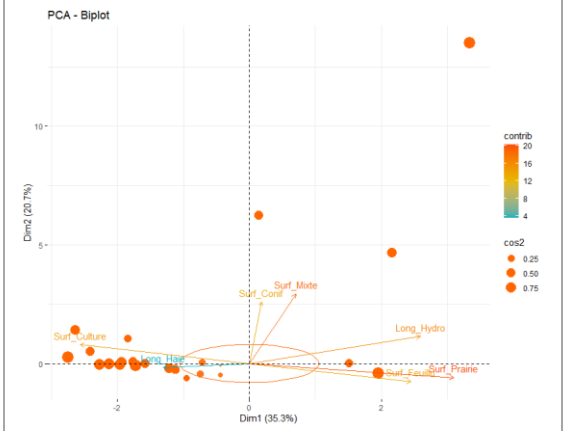
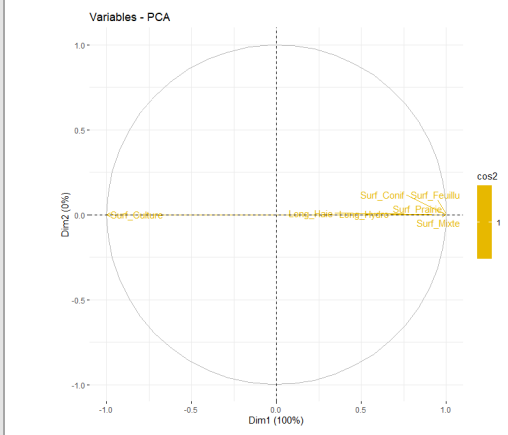
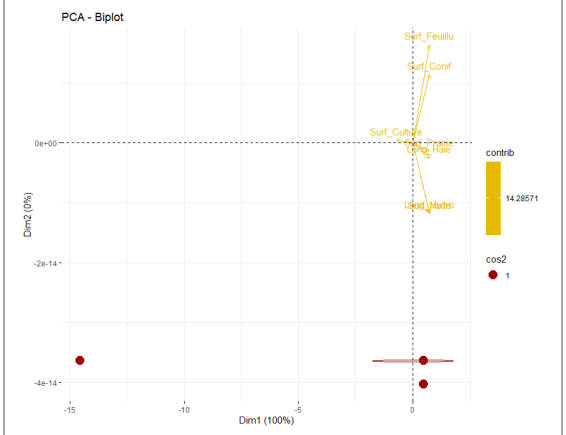
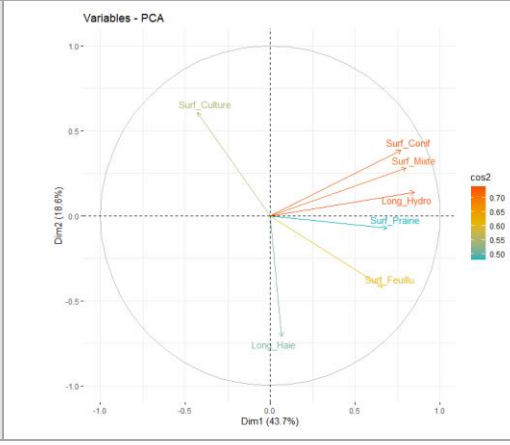
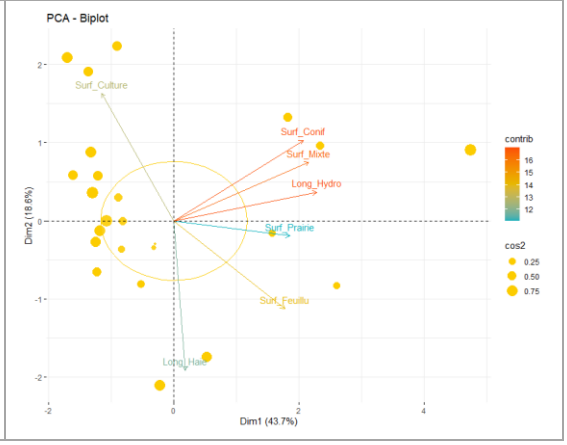


Figure 17 : Cercle de corrélation de l'analyse en composante principale (ACP) sur les variables surfaciques d'habitats naturels environnant

2.4.2. Analyse par espèces

Lorsque l'on observe la répartition des contacts de chiroptères par espèces en fonction de ces différentes variables (graphiques suivants), les résultats sont assez hétérogènes et variables en fonction des espèces. L'activité de la Sérotine commune semble plus influencée par les variables de surface de boisements mixte et de prairies ; celle de la Noctule de Leisler par les surfaces de boisements de conifères, les surfaces de boisements mixte et la longueur du réseau hydrographique ; la Noctule commune par la surface des trois type de boisements et la surface de culture ; la Pipistrelle de Kuhl par la surface des trois type de boisements et la longueur du réseau hydrographique ; la Pipistrelle de Nathusius par la surface de boisements de feuillus, la longueur du réseau hydrographique et la longueur de haie ; et la Pipistrelle commune par la longueur du réseau hydrographique et la surface de boisements mixte.

À noter que les résultats obtenus pour l'ACP de la Grande Noctule ne sont pas interprétables certainement par manque de représentativité du jeu de données sur la variable de proximité d'habitats attractifs.

Influence par espèces	Graphiques d'Analyses en Composantes Principales – Variables surfaciques d'habitats naturels environnant	
Sérotine commune		
Grande Noctule		
Noctule de Leisler		

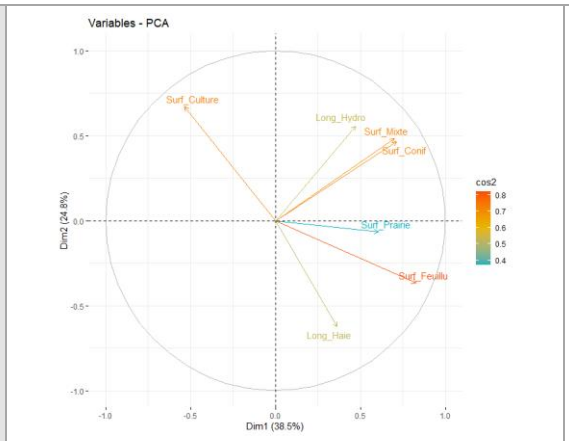
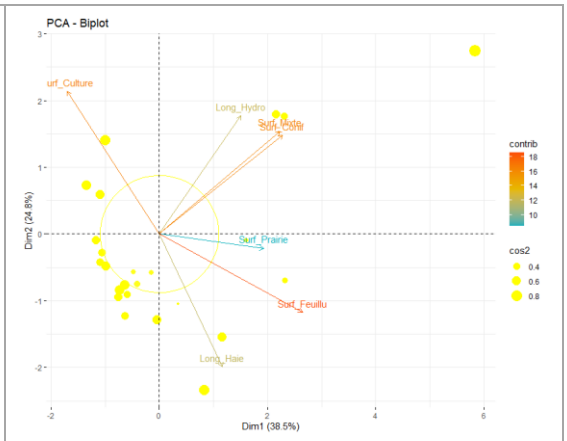
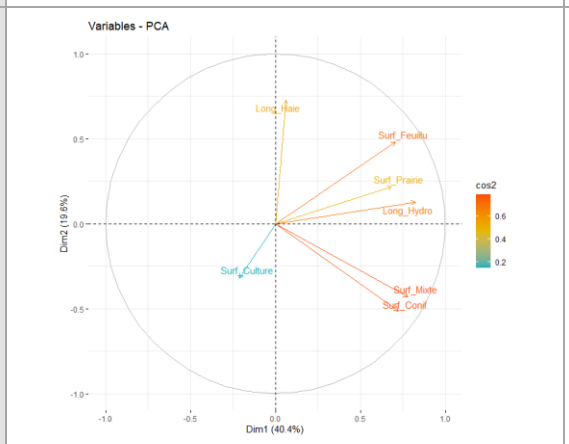
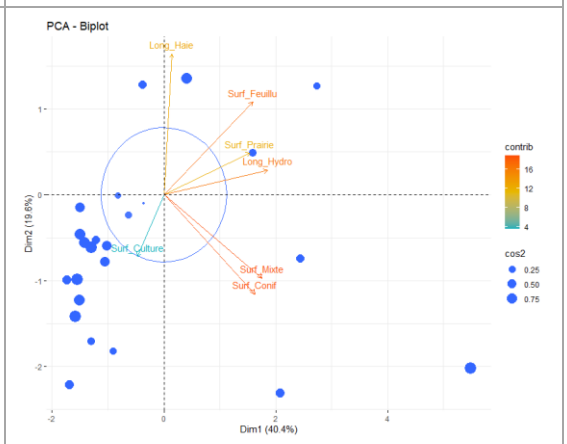
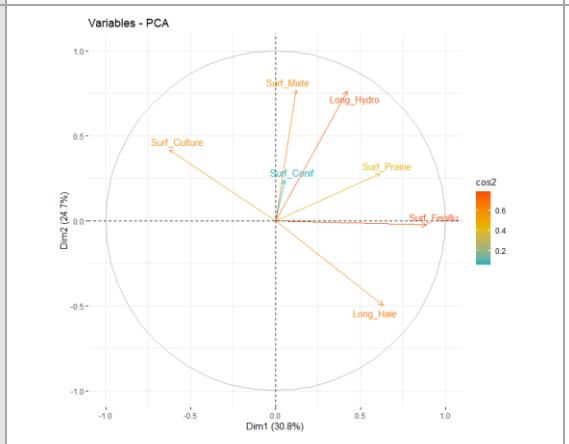
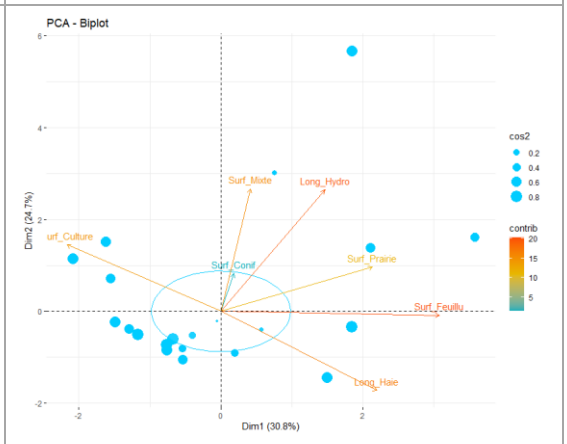
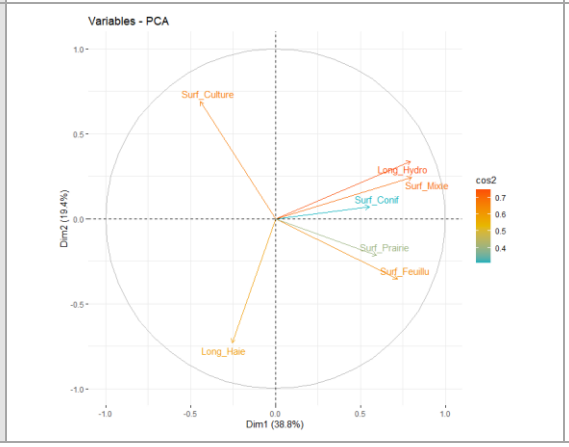
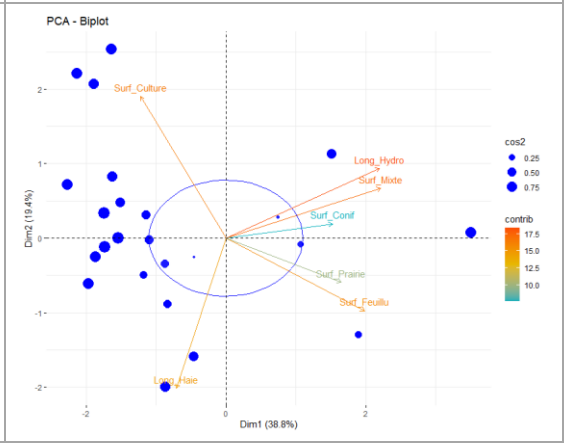
Noctule commune		
Pipistrelle de Kuhl		
Pipistrelle de Nathusius		
Pipistrelle commune		

Figure 18 : ACP sur l'activité des chiroptères par espèces ou groupe d'espèces en fonction des variables surfaciques d'habitats naturels environnant

Le tableau suivant synthétise les résultats des tests statistiques menés sur les données présentées ci-dessus.

Les résultats obtenus en fonction des espèces sont variables. Dans un premier temps, la longueur de haie est la seule variable qui affiche une influence significative positive sur l'ensemble des espèces ciblées. La longueur du réseau hydrographique exerce également une influence significative positive pour la majorité des espèces hormis la Noctule de Leisler. La surface de boisements mixtes affichent une influence significative négative sur l'ensemble des espèces.

Les résultats obtenus pour les autres variables sont plus partagés. Ainsi, les surfaces de boisements affichent des résultats significatifs positifs sur les essences de feuillus pour la Sérotine commune et la Noctule de Leisler, sur les essences de conifères pour la Noctule de Leisler et la Pipistrelle commune et des résultats significatifs négatifs sur les essences de feuillus pour la Noctule commune, la Pipistrelle de Kuhl et la Pipistrelle de Nathusius. Les surfaces de milieu ouvert affichent une influence significative positive des prairies pour la Sérotine commune, la Noctule de Leisler et la Noctule commune et des cultures pour la Sérotine commune, la Noctule commune et la Pipistrelle de Nathusius qui sont plutôt des espèces de « haut-vol ». A l'inverse la Pipistrelle de Kuhl et la Pipistrelle commune qui sont des espèces de lisières montrent une influence significative négative des surfaces de prairies et de cultures.

Les résultats sont non significatifs pour la Grande Noctule sur l'ensemble des variables hormis le réseau hydrographique ; pour la Sérotine commune sur la longueur du réseau hydrographique. Sur la Noctule de Leisler pour la surface de culture ; pour la Pipistrelle de Nathusius sur la surface de prairie et pour la Pipistrelle commune sur la surface de boisement de feuillus.

Espèce/Variable	**Surface**					**Longueur**	
	Boisement feuillu	Boisement conifères	Boisement mixte	Prairie	Culture	Haie	Réseau hydrographique
Sérotine commune	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,01^{e-6}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=0,0007	p-v=2,2^{e-16}	p-v=0,2
Grande Noctule	NA	NA	NA	NA	NA	NA	p-v=2,2^{e-16}
Noctule de Leisler	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=0,04	p-v=1,43^{e-7}	p-v=0,07	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}
Noctule commune	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}
Pipistrelle de Kuhl	p-v=9,26^{e-16}	p-v=0,001	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}
Pipistrelle de Nathusius	p-v=2,17^{e-7}	p-v=2,2^{e-7}	p-v=1,34^{e-5}	p-v=0,5	p-v=0 ,0002	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}
Pipistrelle commune	p-v=0,5	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=8^{e-12}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}	p-v=2,2^{e-16}

p-v = p-value : valeur de la significativité (inférieure à 0,05)

Influence non significative / Influence significative positive / Influence significative négative

Figure 19 : Résultats des tests statistiques par espèce ou groupe d'espèces en fonction des variables surfaciques d'habitats naturels environnant

2.5. Analyse multivariée de l'influence des variables sur les cas de mortalité des chiroptères

Afin, d'observer au mieux le jeu de données des ACP ont été réalisées sur l'ensemble des données. Le graphique suivant affiche les différentes variables liées aux habitats et à la hauteur de garde des éoliennes sur deux dimensions (64 % explained variances). Ainsi, la majorité des variables apparaissent très explicatives pour le jeu de données intégrant la mortalité. Les variables qui apparaissent comme les plus explicatives du jeu de données sont le linéaires du réseau hydrographique (Long_Hydro), la proximité du réseau hydrographique (Proxi_Hydro), la surface de prairie (Surf_Prairie) et la surface de foret de feuillus (Surf_Feuillu). Les variables de surface de boisements de conifères (Surf_Conif), de hauteur de garde des éoliennes (Haut_Garde), de proximité des haies (Proxi_Haie) sont également bien représentées. Les variables de proximité des forêts (Proxi_Foret), de longueur de haies (Long_Haies) et de surface de boisement mixte (Surf_Mixte) représentent modérément le jeu de données sur la mortalité. Enfin la variable de surface de culture (Surf_Culture) est la moins bien représentée par ce cercle de corrélation.

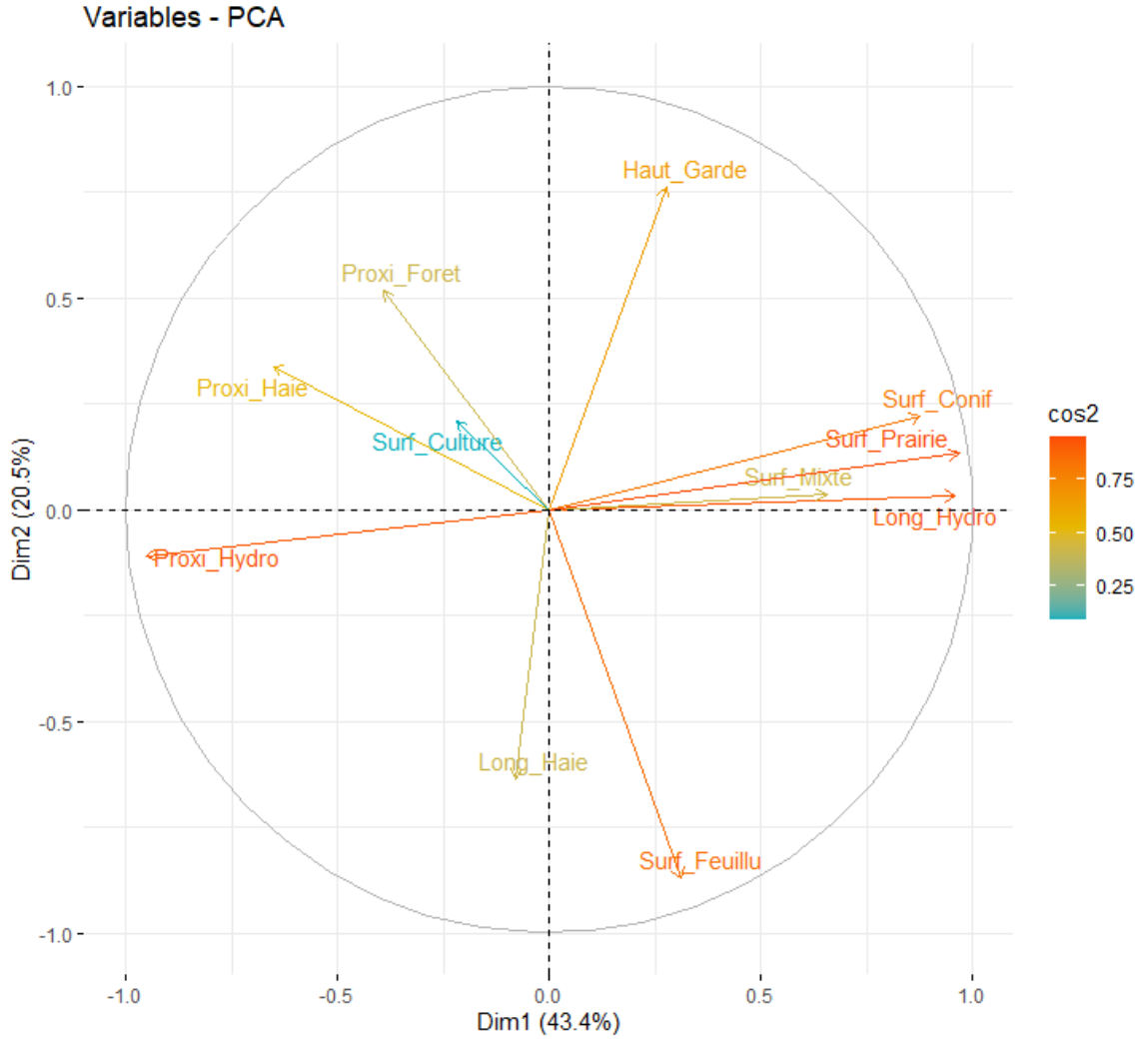


Figure 20 : Cercle de corrélation de l'analyse en composante principale (ACP) de la mortalité sur l'ensemble des variables

Les tests statistiques menés sur l'ensemble du jeu de données affichent une influence significative négative de la hauteur de garde des éoliennes, de la distance aux forêts, de la longueur de haies et de la longueur du réseau hydrographique. Une influence significative positive est observable pour la distance aux haies, la distance au réseau hydrographique, la surface de boisement de feuillus et la surface de boisements de conifères.

Enfin, les variables de surfaces de boisement mixte, de prairie et de culture présentent des résultats non significatifs.

Variables		Résultats des tests statistiques
Modèle d'éolienne	**Hauteur de Garde**	p-v=9 ,35^{e-11}
Distance aux habitats favorables	**Proximité des forêts**	p-v=1,99^{e-7}
	Proximité des haies	p-v=0,02
	Proximité du réseau hydrographique	p-v=4,28^{e-5}
Surface d'habitats	**Boisement de feuillus**	p-v=0,02
	Boisement de conifères	p-v=5,66^{e-5}
	Boisement mixte	p-v=0,32
	Prairie	p-v=0,38
	Culture	p-v=0,99
Longueur de linéaires	**Haie**	p-v=0,009
	Réseau hydrographique	p-v=0,005
p-v = p-value : valeur de la significativité (inférieure à 0,05) *Influence non significative / Influence significative positive / Influence significative négative*		

Figure 21 : Résultats des tests statistiques sur l'ensemble du jeu en fonction des variables surfaciques d'habitats naturels environnant

3. CONCLUSION ET DISCUSSION

La présente étude propose une analyse approfondie de l'activité chiroptérologique en hauteur et des risques de mortalité associés à l'implantation de parcs éoliens. Après plusieurs années de recherche et développement, l'étude se concentre sur les espèces les plus impactées par les aérogénérateurs en fonctionnement, en prenant en compte les variables météorologiques, temporelles et les habitats environnants. Les espèces les plus impactées par l'éolien affichent également des tendances de population à la baisse au niveau national (Bas *et al.* 2020), l'intérêt de comprendre le comportement de ces espèces afin de pouvoir mettre en place des mesures efficaces pour leurs protection apparait cruciale.

Les résultats montrent que l'activité des chiroptères est influencée par des variables telles que la période, la vitesse du vent, la température et l'heure. Globalement, la température et la période de l'année exercent une influence positive sur l'activité des chiroptères, tandis que la vitesse du vent et l'heure de la nuit exercent une influence négative. Ces résultats corroborent les données bibliographiques existantes.

Les résultats sur les analyses spécifique affichent les mêmes résultats que ceux cités précédemment hormis pour la Pipistrelle commune pour laquelle la semaine au cours de l'année exerce une influence positive et la Pipistrelle de Kuhl pour laquelle la température exerce une influence négative. L'effet positif de **la semaine au cours de l'année** est en corrélation avec plusieurs articles montrant que la présence d'activité et de mortalité des chiroptères plus élevée lors des périodes de fin d'été et automnales (Alcalde 2003, Arnett *et al.* 2008, Rydell *et al*. 2010a, Brinkmann *et al*. 2011, Voigt *et al.* 2012, Limpens *et al*. 2013, Lloyd *et al*. 2023).

Les variables météorologiques, connues pour influencer l'activité des chiroptères, font l'objet de plusieurs articles reliant les conditions météorologiques à la mortalité des chauves-souris (Arnett et al. 2008, Baerwald and Barclay 2011, Amorim et al. 2012, O'Donnell et al. 2010, Voigt et al. 2015, Heim et al. 2016, Labouré ENCIS Environnement 2021).

Dans le contexte de cette étude, la **température** apparaît comme un facteur significatif et positif influençant l'activité des chauves-souris. Ces résultats rejoignent les conclusions antérieures de plusieurs études (Redell *et al*., 2006 ; Arnett *et al*., 2006, 2007 ; Martin *et al*., 2015 ; Behr et *al*., 2017), soulignant ainsi l'importance de considérer la température comme un élément décisif de l'activité chiroptérologique. Il convient de noter que la Pipistrelle de Kuhl présente une légère influence négative de la température, possiblement liée à une diminution abrupte du nombre de contacts au-delà de 23°C.

Parmi les paramètres météorologiques examinés, **la vitesse du vent** se révèle cruciale dans le contexte des projets éoliens qui se fondent sur cette variable pour leur production. Les résultats de la présente étude démontrent une influence significativement négative de la vitesse du vent sur les interactions avec les chiroptères, en accord avec plusieurs références bibliographiques (Arnett *et al*., 2008 ; Rydell *et al*., 2010 ; Behr *et al*., 2017 ; Wellig *et al*., 2018).

L'analyse du **cycle circadien** révèle une influence significativement négative des heures suivant le coucher du soleil sur l'activité avec les chiroptères. Ce constat est en cohérence avec les travaux antérieurs (Barataud, 2012 ; Behr *et al*., 2017). De multiples études mettent en évidence une diversité dans la répartition de l'activité nocturne selon les espèces. Par exemple, Mariton *et al.* (2023) identifient différents schémas d'activité, comprenant des espèces crépusculaires manifestant un pic d'activité en début et fin de nuit, potentiellement lié à leur alimentation en diptères (Ware *et al.,* 2020) telles que la Pipistrelle commune, la Pipistrelle pygmée et la Noctule commune. D'autres espèces, tardives, présentent une activité précoce et tardive en début et fin de nuit respectivement, peut-être associée à leur alimentation en lépidoptères (Ware *et al*., 2020), comprenant des espèces telles que le Grand Murin, l'Oreillard roux et le Petit Rhinolophe. En outre, certaines espèces médianes démontrent une activité intermédiaire entre le début et la fin de nuit, possiblement en relation avec leur alimentation en diptères (Ware *et al*., 2020), incluant des espèces comme la Pipistrelle de Kuhl, la Vespère de Savi et la Sérotine commune. Ces observations confirment la variabilité de la répartition de l'activité des chiroptères au cours de la nuit en fonction des espèces, tout en soulignant un effet positif de l'heure de la nuit pour la Pipistrelle commune, comme relevé dans notre étude.

Dans une deuxième partie de l'étude, les variables relatives aux habitats situés dans un rayon d'un kilomètre autour des éoliennes ont été examinées. En effet, les habitats adjacents aux éoliennes jouent un rôle dans l'activité et les cas de mortalité des chauves-souris. Rydell et al. (2010) ont observé des taux de mortalité allant de 0 à 3 chiroptères par éolienne par an en terrain découvert, de 2 à 5 chiroptères par éolienne par an dans des milieux plus diversifiés, et de 5 à 20 chiroptères par éolienne par an sur la côte et en forêt (surtout sur les promontoires et les crêtes). Ces conclusions ont été corroborées par plusieurs autres études. La proximité et la proportion d'habitats naturels environnants influent sur l'activité des chiroptères et, par conséquent, sur le risque de mortalité.

La présence d'éoliennes à proximité de plans d'eau, **de cours d'eau** ou des côtes de ces habitats est associée à un risque accru de mortalité pour les chiroptères en raison de l'abondance d'insectes (Ahlen *et al*., 2003 ; Eurobats, 2016). Les résultats de notre étude confirment une influence significative sur l'activité des chiroptères, qui est plus élevée pour la majorité des espèces lorsque la proximité avec les cours d'eau ou les plans d'eau est réduite.

En ce qui concerne **les zones boisées**, Roemer *et al*. en 2019 démontre qu'une activité chiroptérologique plus élevée est observée, avec une influence significative de la distance aux boisements sur la densité d'espèces de bas et moyen vol (telles que la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl et la Sérotine commune), tandis que les espèces de haut vol ne semblent pas répondre à cette variable (telles que la Pipistrelle de Nathusius, la Noctule commune et la Noctule de Leisler. Mathews *et al.* (2012) ont également montré que la présence de bois dans un rayon de 1 500 mètres autour des parcs éoliens semble réduire le risque pour les pipistrelles le long des lisières, mais augmente le risque pour les noctules. Notre étude confirme une influence significative sur l'activité des chiroptères, qui se rélève plus élevée pour la grande majorité des espèces lorsque la distance avec les boisements est réduite, notamment pour les espèces de bas et moyen vols, telles que la Sérotine commune, la Pipistrelle de Kuhl et la Pipistrelle commune, tandis que cet effet est inverse pour la Noctule commune et la Pipistrelle de Nathusius. De plus, la surface des boisements dans un rayon d'un kilomètre autour des éoliennes où les écoutes ont été menées, affiche également un effet significatif positif sur la présence de cas de mortalité chez les chiroptères lors des suivis de mortalité. Cependant, ce résultat semble être inverse sur l'activité de la majorité des espèces de chiroptères, ce qui est plutôt surprenant.

Les haies, tout comme les lisières boisées, jouent un rôle prépondérant pour la plupart des chiroptères et concentrent leur activité (Lacoeuilhe *et al*., 2018; Lacoeuilhe *et al*., 2016; Kelm *et al*., 2014; Boughey *et al*., 2011). Selon des études menées en Allemagne (Dürr, 2003), la fréquence des cas de mortalité est plus élevée lorsque la distance entre le mât de l'éolienne et les structures arborées avoisinantes (telles que les haies et les lisières forestières) est réduite. Par conséquent, plusieurs articles scientifiques et directives, à diverses échelles, recommandent une distance comprise entre 50 mètres (Dürr, 2007 ; Kelm *et al*., 2014; Natural England, 2014) et 200 mètres (Eurobats, 2017; SFEPM, 2016) entre le bout de pale des éoliennes et les cimes des haies et des boisements. Barré *et al.* (2022) ont noté un non-respect des recommandations Eurobats dans l'implantation des parcs éoliens, avec 89 % des éoliennes dans le nord-ouest de la France situées à moins de 200 mètres des haies. Enfin, Leroux *et al*. (2023) ont constaté une diminution de l'activité de tous les groupes d'espèces en fonction de la distance à la haie en l'absence d'éoliennes, avec des résultats modifiés par l'implantation de ces dernières. Les résultats de la présente étude confirment un effet significatif négatif de l'éloignement par rapport à la haie sur l'activité chiroptérologique pour la plupart des espèces ainsi que sur la fréquence des cas de mortalité chez les chiroptères. Cependant, certaines espèces semblent peu influencées positivement par l'éloignement par rapport à la haie, comme le montrent également certains articles cités précédemment et notamment dans le cadre des résultats de cette étude, particulièrement pour la Noctule commune et la Pipistrelle commune. De plus, la proportion de haie dans un rayon d'un kilomètre autour du mât de mesure montre une augmentation de l'activité pour l'ensemble des espèces, à l'exception de la Grande Noctule.

En ce qui concerne **les milieux ouverts**, bien que moins attractifs pour la plupart des chiroptères, ces habitats restent importants, en particulier pour les espèces qui y chassent, telles que les noctules, et qui présentent un risque élevé de collision (Bas *et al.,* 2014). Ainsi, même les régions considérées comme moins propices aux chiroptères, comme les vastes plaines agricoles, peuvent entraîner des taux de mortalité élevés (Brinkmann *et al*., 2011). Les résultats de la présente étude indiquent une influence significativement positive de la superficie des milieux ouverts sur l'activité de certaines espèces étudiées, notamment la

Sérotine commune, la Noctule commune, la Noctule de Leisler, uniquement dans les prairies, et la Pipistrelle de Nathusius, uniquement dans les cultures.

Quel que soit l'environnement au sein duquel les éoliennes sont implantées, il est essentiel de quantifier *in situ* l'activité des chiroptères et de mettre en place des mesures appropriées pour prévenir tout risque de collision (Kelm *et al*., 2014; Boughey *et al*., 2011). En effet, Lintott *et al*. (2016) ont noté que des sites initialement considérés comme peu attractifs pour les chauves-souris lors des évaluations préalables à l'installation des éoliennes peuvent présenter des cas de mortalité après la construction des turbines. Cela pourrait être attribuable à des changements de comportement des chauves-souris suite à l'installation des éoliennes, nécessitant ainsi la mise en œuvre de stratégies d'atténuation. Il est crucial de comprendre que le comportement des chauves-souris peut varier sur les sites une fois que les éoliennes sont opérationnelles.

Il est à noter que l'analyse indépendante de ces variables ne suffit pas à expliquer la complexité de l'activité des chiroptères. En tenant compte du plus grand nombre possible de variables influençant l'activité chiroptérologique, il est possible d'anticiper plus précisément l'activité des chiroptères et de les protéger efficacement dans le contexte des parcs éoliens en mettant en place des arrêts programmés des éoliennes adaptés aux conditions locales.

3.1. Perspective de l'étude

Actuellement, les algorithmes qui intègrent de multiples critères simultanément permettent de développer des mesures de réduction robustes pour l'implantation de parcs éoliens. Il est donc nécessaire d'intégrer autant de critères que possible susceptibles d'influencer l'activité des chiroptères, tels que les caractéristiques du paysage dans un rayon de 10 km, les conditions météorologiques, la saisonnalité et le fonctionnement des éoliennes. Cette prise en compte pourrait être plus efficace que les stratégies actuelles de limitation basées sur le vent et la température (Barré et al., 2023).

Diverses variables supplémentaires pourraient être intégrées afin d'affiner notre compréhension des conditions influençant l'activité chiroptérologique. Les conditions météorologiques exercent une influence directe ou indirecte sur la **disponibilité en ressources alimentaires** (principalement des insectes pour les chauves-souris européennes) et sur les conditions de vol des chiroptères (Baerwald et Barclay, 2011). Il serait donc pertinent d'explorer les variables qui régissent l'émergence et la présence d'insectes. Bien que **la pluviométrie** soit assez bien documentée à ce jour, avec des preuves établissant que la pluie réduit fortement, voire arrête, l'activité des chauves-souris (Brinkmann *et al.,* 2011), les avis divergent concernant d'autres paramètres météorologiques. **La pression atmosphérique** (Cryan et Brown, 2007 ; Kern *et al.,* 2005), **le rayonnement lunaire** (Baerwald et Barclay, 2011 ; Cryan *et al*., 2014 ; Mariton *et al*., 2022) **et l'hygrométrie** (Behr *et al*., 2011) pourraient également avoir un impact sur l'activité chiroptérologique. Cependant, il semble probable que ces paramètres agissent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères (comme démontré par Behr et al., 2011) ou sur l'abondance d'insectes (Corten et Veldkamp, 2001). Il serait également intéressant d'étudier la variable de **la direction du vent**, qui pourrait directement influencer les déplacements des chiroptères.

Il est également essentiel de prendre en compte tous **les types d'habitats** présents lors de l'évaluation de l'impact des projets éoliens afin d'anticiper les risques de mortalité des chiroptères. L'emplacement des éoliennes doit être soigneusement planifié pour minimiser leur proximité avec les habitats naturels favorables à l'activité des chauves-souris, ainsi que pour tenir compte de la proportion de ces habitats dans la zone environnante.

Ainsi, des variables complémentaires notamment à l'échelle du paysage dans un rayon de 10 km pourrait être intégrées avec les notions **de reliefs, de réservoirs de nourrissage, de trames vertes, de trames bleues, de trames noires**, etc.

L'intégration à grande échelle des variables pouvant expliquer de façon plus fine les comportements à risques des chiroptères au niveau des parcs éoliens et notamment les **pics d'activité** ainsi que les **phénomènes migratoires**, notamment la forte activité et mortalité des chiroptères observées dans le contexte éolien lors des transits automnaux et des regroupements massifs (swarming) en août, septembre et octobre.

Les réactions des chiroptères suite à l'implantation des parcs éoliens est également cruciale à prendre en compte. En effet, la **localisation du parc éolien, le nombre d'éoliennes au sein du parc, le gabarit des éoliennes** (hauteur de garde, taille du rotor, hauteur en bout de pale) qui a commencé à montrer des résultats dans le cadre de cette étude, **les effets de sillage** ou encore **la luminosité** créer par l'implantation des éoliennes. Les **comportements d'attractions** et à l'inverse d'**aversions** au niveau des parcs éoliens demandent des recherches approfondies afin de mieux comprendre les comportements induits pour les espèces de chiroptères et notamment les populations fréquentant régulièrement les secteurs étudiés et prendre en compte les différentes variables liées à ces réactions.

BIBLIOGRAPHIE

- *Amorim F. Rebelo H. Rodrigues L. 2012.* Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. Acta Chiropterologica 14(2): 439-457.
- *Arnett E.B. Huso M.M.P. Schirmacher M.& Hayes J.P. 2011.* Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. Front Ecol. Environ. 2011, 9(4): 209– 214.
- *Arnett E.B. Barclay R.M.R & Hein C.D. 2013a.* Thresholds for bats killed by wind turbines. Frontiers in Ecology and the Environment 11: 171–171. doi:10.1890/15409295-11.4.171 & 2013a
- *Arnett E.B. 2006.* A preliminary evaluation on the use of dogs to recover bat fatalities at wind energy facilities. Wildlife Society Bulletin 34(5): 1140-1145.
- *Arnett E.B. Huso M.M.P. Reynolds D.S. & Schirmacher M. 2007.* Patterns of preconstruction bat activity at a proposed wind facility in northwest Massachusetts. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 35 p.
- Arnett E.B. Brown W.K. Erickson W.P. Fiedler J. Hamilton B.L. Henry T.H. Jain A. Johnson G.D. Kerns J. Koford R.R. Nicholson C.P. O'Connell T. Piorkowski M. & Ta,kersley R. 2008. Patterns of fatality of bats at wind energy facilities in North America. Journal of Wildlife Management 72: in press
- *Arthur L. & Lemaire M. 2015.* Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 544 p. (Hors collection ; 38).
- *Aulagnier S. 2005.* France. in : R. Hutterer, T. Ivanova, C. Meyer-Cords & L. Rodrigues : Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature. Natursch. Biol. Vielf., 28 : 41-43.
- *Bach L. & Niermann I. 2011 & 2013*. Monitoring der Fledermausaktivität im Windpark Langwedel – Bericht 2012 – Überprüfung des Abschaltalgorithmus. Unpubl.report to PNE Wind AG, 28 pages.
- *Baerwald E.F. Barclay R.M.R. 2011.* Patterns ofactivity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. The Journal of Wildlife Management 75: 1103-1114.
- *Barataud M. & Giosa S. 2012.* Biodiversité des chiroptères et gestions forestières en Limousin : rapport. Groupe Mamm. Herpéto. Limousin, Limoges, 32 p
- *Barclay R.M.R. 1991.* Population Structure of Temperate Zone Insectivorous Bats in Relation to Foraging Behaviour and Energy Demand. Journal of Animal Ecology 60 (1): 165-178.
- *Bauer K. 1960.* Die Säugetiere des Neusiedlersee-Gebietes (Österreich), Bonn. Zool. Beitr. 11(2-4): 141-344.
- *Barré K., Froidevaux J.S.P., Sotillo A., Roemer C., Kerbiriou C. 2023.* Drivers of bat activity at wind turbines advocate for mitigating bat exposure using multicriteria algorithm-based curtailment. Science of the Total Environnement 866 (2023) 1614047
- *Barré K., Froidevaux J.S.P., Leroux C., Mariton L., Fritze M., Kerbiriou C., Le Viol I., Bas Y., Roemer C. 2022.* Over a decade of failure to implement UNEP/EUROBATS guidelines in wind energy planning: A call for action. Conservation Science and Practice. 2022;4:e12805.
- *Barre, K., L., Le Viol, I., Bas, Y., Julliard, R. & Kerbiriou, C. 2018.* Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats: imlications for European siting guidance. Biological Conservation, 226, 205–214.
- *Barré K., Le Viol I., Juillard R., Chiron F. 2017.* Tillage and herbicide reduction mitigate the gap between conventional and organic farming effects on foraging activity of insectivorous bats. Ecology and Evolution. 2017;1–11.

B*ehr O. Brinkmann R. Niermann I. & Korner-Nievergelt F. 2011.* Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & M. Reich, (Hrsg.): Entwicklung

- *Collins J. & Jones G. 2009.* Differences in bat activity in relation to bat detector height: implications for bat surveys at proposed windfarm sites. Acta Chiropterol., 11(2) : 343-350.
- Cryan P.M. Gorrensen P.M. Hein C.D. Schirmacher M.R. Diehl R.H.Huso M.M. Hayman D.T.S. Fricker P.D. Bonaccorso F.J. Johnson D.H. Hesit. H. & Dalton D.C. 2014. Behavior of bats at wind turbines. PNAS. doi: 10.1073/pnas.1406672111
- *Dietz C. Von Helversen O. & Nill D. 2009.* L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord : Biologie, caractéristiques, protection. Delachaux et Niestlé, Paris, France. 400 p.
- *Dürr, T. 2007*. Möglichkeiten zur Reduzierung von Fledermausverlusten an Windenergieanlagen in Brandenburg. Nyctalus (N.F.) 12 (2-3): 238-252
- *Erickson et al. 2011.* Avian and bat mortality associated with the Vansycle Wind Project, Umatilla County, Oregon: 1999 study year.WEST, Inc. for Umatilla County Department of Resource Services and Development, Pendleton, Oregon. 21 p.
- *Erkert H.G. 1982.* Ecological aspects of bat activity rhythms, p. 201-242. In: T.H. Kunz (Ed.). Ecology of bats.New York, Plenum Press, XVIII+425p.
- Georgiakakis, P. Kret E. Cárcamo B. Doutau B. Kafkaletou-Diez A. Vasilakis D. & Papadatou E. 2012. Bat fatalities at wind farms in north-eastern Greece. Acta Chiropterologica 14 (2): 459-468.
- *Gerell-Lundberg K. & Gerell R.1994.* The mating behaviour of the pipistrelle and the Nathusius' pipistrelle (Chiroptera) - A comparison. Folia Zoologica 43 (4): 315-324.
- *Hedenström A. 2009.* Optimal migration strategies in bats. Journal of Mammalogy, 90(6):1298–1309, 2009
- *Horn J.W. Arnett E.B. & Kunz T.H. 2008.* Behavioral responses of bats to operating wind turbines. The Journal of Wildlife Management 72(1): 123-132
- *Holzhaider J. & Zahn A. 2001.* Bats in the Bavarian Alps : species composition and utiliszation of higher altitudes in summer. Z. Säugetierk., 66(2) : 144-154.
- *Hull C.L. & Cawthen L. 2013.* Bat fatalities at two wind farms in Tasmania, Australia: Bat characteristics, and spatial and temporal patterns. New Zealand Journal of Zoology 40(1): 5–15
- *Hutterer R. Ivanova T. Meyer-Cords C. & Rodrigues L. 2005.* Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature. Natursch. Biol. Vielf., 28 : 3-162 + app.
- *Johnson G.D. Erickson W.P. Strickland M.D. Shepherd M.F. & Shepherd D.A. 2003.* Mortality of bats at a Large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. – Am. Midl. Nat.150: 332-342.
- *Kaňuch P. and Krištín A. 2007.* Factors influencing bat assemblages in forest parks. Ekológia (Bratislava)24:45–56.
- *Kapfer G. & Aron S. 2007.* Temporal variation in flight activity, foraging activity and social interactions by bats around a suburban pond. Lutra, 50(1) : 9-18.
- *Kerns J. Erickson W.P. & Arnett E.B. 2005.* Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia in Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines, Pour Bat and Wind Energy Cooperative. E.B Arnett, ed. pp. 24-95.
- *Kronwitter F. 1988.* Population structure, habitat use and activity patterns of the Noctule bat, Nyctalus noctula Schreb., 1774 (Chiroptera: Vespertilionidae) revealed by radio-tracking. Myotis, 26: 23 -85 .
- *Le Campion T. & Dubos T. 2017.* Etude la migration des chauves-souris en Bretagne 2013-2016 : rapport final mai 2017. G.M.B., 52 p.

- *Leroux C., Le Viol I., Valet N., Kerbiriou C., Barré K. 2023.* Disentangling mechanisms responsible for wind energy effects on European bats. Journal of Environmental Management 346 (2023) 118987
- *Leroux C., Kerbiriou C., Le Viol I., Valet N., Barré K. 2022.* Distance to hedgerows drives local repulsion and attraction of wind turbines on bats: Implications for spatial siting. Journal of Applied Ecology - June 2022
- *Limpens H.J.G.A. Boonman,M. Korner-Nievergelt F. Jansen E.A. Van der Valk M. La Haye M.J.J. Dirksen S. & Vreugdenhil S.J. 2013.* Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting. Report 2013. 12, Zoogdiervereniging & Bureau Waardenburg.
- *Lloyd J.D., Butryn R., Pearman-Gillman S., Allison T. 2023.* Seasonal patterns of bird and bat collision fatalities at wind turbines. PLoS ONE 18(5): e0284778.
- *Mariton L., Le Viol I., Bas Y., Kerbiriou C. 2023.* Characterising diel activity patterns to design conservation measures: Case study of European bat species. Biological Conservation 277 (2023) 109852
- *Mariton L., Kerbiriou C. Bas Y., Zanda B., Le Viol I. 2022.* Even low light pollution levels affect the spatial distribution and timing of activity of a "light tolerant" bat species. Environmental Pollution 305 (2022) 119267
- *McAney C.M. & Fairley J.S. 1990.* Observations at summer roosts of the lesser horseshoe bat in co clare. Ir. Nat. J. 23(1)
- *Niermann I. Brinkmann R. Korner-Nievergelt F. Behr O. 2011.* Systematische Schlagopfersuche - Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (ed.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum 4: 40-115
- *Norberg U.M. Rayner J.M.V. 1987.* Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci. 316: 335-427
- *Parsons S. & Jones G. 2000.* Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. J. exp. Biol. 203: 2641±2656.
- *Rachwald A. 1992.* Habitat preference and activity of the noctule bat Nyctalus noctula in the Bialowieza Primeval Forest. Acta Theriol. 37, 413-422.
- *Redell D. Arnett E.B. Hayes J.P. & Huso M. 2006.* Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in south-central Wisconsin. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 52 p.
- *Rodrigues L. Bach L. Dubourg-Savage M.-J. Goodwin J. & Harbush C. 2008.* Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. EUROBATS Publication Series No. 3 (version française). PNUE/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany
- *Roemer C., Bas Y., Disca T. Coulon A. 2020.* Influence of landscape and time of year on bat-wind turbines collision risks. Landscape Ecology 34 pp.2869-2881
- *Roemer C., Coulon A., Disca T., Bas Y. 2019.* Bat sonar and wing morphology predict species vertical niche. J. Acoust. Soc. Am. 145 (5), May 2019
- *Russ J.M. 1999a.* The bats of Britain and Ireland. Echolocation calls, sound analysis and species identi®cation. Newtown: Alana Books. 102
- *Russ J.M. 1999b.* The Microchiroptera of Northern Ireland: community composition, habitat associations and ultrasound. Unpbl. PhD thesis, The Queen's University of Belfast

- *Rydell J. Bach L. Dubourg-Savage M-J. Green M. Rodrigues L. & Hedenström A. 2010a.* Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. Acta Chiropterologica 12(2): 261-274
- *Rydell J. Bach L. Dubourg-Savage M-J. Green M. Rodrigues L. & Hedenström A. 2010b.* Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? Eur. J. Wildl. Res., 56(6) : 823-827.
- *Sattler T. & Bontadina F. 2005.* Bases pour l'évaluation écologique de deux secteurs d'installations éoliennes en France sur la base de la diversité et l'activité des chauves-souris. – Compte-rendu succinct, SWILD, Zürich par ordre de Megawatt Eole, Stuttgart, 23p.
- *Seiche K. Endl P. & Lein M. 2007.* Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen – Ergebnisse einer landesweiten Studie. Nyctalus (N.F.) 12 (2-3): 170-181
- *Silva R. 2009.* Effet des conditions météorologiques sur l'activité de chasse des Chiroptères. M.N.H.N., C.R.B.P.O., 36p.
- *Swift S.M. 1980.* Activity patterns of pipistrelle bats (Pipistrellus pipistrellus) in north-east Scotland. Journal of Zoology, London, 190, 285-295.
- *Whitaker J.O.Jr. 1998.* Life history and roost switching in six summer colonies of eastern pipistrelles in buildings. Journal of Mammalogy 79 (2): 651-659.