



Conservatoire d'espaces naturels Midi-Pyrénées

Rapport d'étude

Etude de la tolérance de deux
espèces (Petit Rhinolophe et Grand
Rhinolophe) et d'un groupe d'espèces
(genre *Myotis*) à la pollution
lumineuse



Rédaction : Emile PONCET (CEN MP)

Juin 2020

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION ET CONTEXTE	3
2. MATERIELS ET METHODES	3
2.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE	3
2.2. ESPECES ETUDIEES	3
2.3. PLAN D'ECHANTILLONNAGE	4
2.3.1. Sélection des points	4
2.3.2. Protocole d'inventaire	5
2.4. TRAITEMENT DES DONNEES	6
2.4.1. Analyse des données acoustiques	6
2.4.2. Présentation des variables	7
a - Variables réponses	7
b - Variables environnementales	7
c - Variables expérimentales	8
2.4.3. Analyse statistiques	9
3. PRESENTATION DES RESULTATS	10
3.1. RESULTATS GLOBAUX	10
3.2. PETIT RHINOLOPHE – RHINOLOPHUS HIPPOSIDEROS (BECHSTEIN, 1800)	11
3.2.1. Description des résultats	11
3.2.2. Modélisation des résultats	13
a - Corrélation des variables	13
b - Meilleur modèle et résultats - Activité	13
c - Meilleur modèle et résultats – Probabilité de présence	15
3.3. GRAND RHINOLOPHE – RHINOLOPHUS FERRUMEQUINUM (SCHREBER, 1774)	17
3.3.1. Description des résultats	17
3.3.2. Modélisation des résultats	19
a - Corrélation des variables	19
b - Meilleur modèle et résultats - Activité	19
c - Meilleur modèle et résultats – Probabilité de présence	21
3.4. MURIN INDETERMINE – <i>MYOTIS SP.</i>	24
3.4.1. Description des résultats	24
3.4.2. Modélisation des résultats	26
a - Corrélation des variables	26
b - Meilleur modèle et résultats - Activité	26
c - Meilleur modèle et résultats – Probabilité de présence	28

4. DISCUSSION DES RESULTATS	31
4.1. ESTIMATION DE L'ACTIVITE	31
4.2. EFFET DE LA QUALITE DU CIEL	32
4.2.1. Sur l'activité	32
4.2.2. Sur la probabilité de présence	33
4.3. EFFETS DES AUTRES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES	34
4.3.1. Petit Rhinolophe – <i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800)	34
4.3.2. Grand Rhinolophe – <i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreber, 1774)	34
4.3.3. Murin indéterminé – <i>Myotis</i> sp	35
5. CONCLUSION	36
6. BIBLIOGRAPHIE	37

1. INTRODUCTION ET CONTEXTE

En 2017, dans le cadre du programme ADAP'TER, le Parc National des Pyrénées a sollicité le bureau d'études Dark Sky Lab pour réaliser une carte de la qualité du ciel sur son territoire. Le PNP a par la suite souhaité croiser ces informations avec le comportement d'espèces indicatrices lucifuges pour identifier une gamme de pollution lumineuse en-deçà de laquelle la présence de ces espèces diminuerait significativement. Espèces nocturnes, le groupe des chiroptères a été retenu pour cette étude.

Cette nouvelle étude est financée par le programme POCTEFA Pyrénées La Nuit, porté en France par le CPIE Bigorre-Pyrénées. Elle se concentre sur deux espèces, le Grand Rhinolophe et le Petit Rhinolophe et sur le genre *Myotis* avec l'objectif de mesurer leur activité acoustique sur plusieurs points d'écoute et de croiser ensuite ces résultats avec le gradient de qualité du ciel. Les murins et les rhinolophes sont des espèces lucifuges et sont donc de bons indicateurs pour l'ensemble de la faune nocturne.

Une première partie du jeu de données a été analysée en 2018 par Emeline FRESSE, stagiaire au PNP. Pour 2019, le CPIE a sollicité le Conservatoire d'Espaces Naturels pour finaliser les analyses acoustiques et réaliser les premières analyses des résultats.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude est menée sur une partie du Parc National des Pyrénées. Ce parc, créé par décret ministériel du 23 mars 1967 s'étend sur deux départements (Hautes-Pyrénées et Pyrénées-Atlantiques) entre les vallées d'Aspe à l'ouest et d'Aure à l'est sur 100km de longueur et jusqu'à 10km de large pour une superficie supérieure à 170 000ha. Un peu plus d'un quart de cette surface constitue la zone cœur où se concentrent les espaces les mieux préservés et où s'applique une réglementation spécifique de conservation. Elle correspond globalement aux zones non urbanisées situées en altitude. Plus bas dans les vallées s'étend l'aire d'adhésion au sein de laquelle les communes sont libres d'adopter ou non la charte du parc et de s'engager de fait pour la réalisation de ses objectifs.

Le périmètre retenu se limite au département des Hautes-Pyrénées, essentiellement pour des raisons de moyens humains et financiers. 4 secteurs y ont été définis, Aure, Luz, Cauterets et Azun.

2.2. ESPECES ETUDIEES

Espèces sensibles aux effets de la pollution lumineuse (Mickleburgh *et al.* 2002; Frey-Ehrenbold *et al.* 2013), le choix a été fait d'étudier les chiroptères qui sont considérées comme de bonnes indicatrices de la sensibilité de la biodiversité nocturne à cette pollution. Si plus de 30 espèces sont aujourd'hui connues sur le territoire du parc, seules les espèces les plus lucifuges seront étudiées ici, c'est-à-dire celles pour lesquelles un réel impact est attendu avec la variation du gradient de qualité du ciel. Les espèces retenues sont donc le Petit Rhinolophe et le Grand Rhinolophe ainsi que le groupe des murins. Pour ce dernier groupe, du fait des difficultés d'identification acoustique entre les différentes

espèces, la précision sera au niveau du genre bien que cela puisse compliquer les analyses car il inclut de nombreuses espèces aux biologies différentes. Ce problème n'existant pas pour les rhinolophes, le niveau de précision est l'espèce bien que des séquences douteuses Petit Rhinolophe / Rhinolophe euryale puissent être attribuées au Petit Rhinolophe. D'abord retenu, le groupe des oreillards a finalement été écarté à cause de la discrétion acoustique de ces espèces.

2.3. PLAN D'ÉCHANTILLONNAGE

2.3.1. SÉLECTION DES POINTS

Un maillage de 250x250 mètres a été appliqué sur la zone d'étude (territoire du PNP dans les Hautes-Pyrénées), soit un total de 22 375 mailles. Elles sont ensuite caractérisées par un code à 3 chiffres dit « UFL » pour Urbanisation-Forêt-Luminosité.

Chaque chiffre correspond à une variable du milieu, discrétisée en 5 classes de 1 à 5 :

- U (Urbanisation) : cela correspond au taux d'urbanisation à l'intérieur de la maille, 1 étant une maille peu urbanisée et inversement pour la catégorie 5. Cette variable est mesurée avec la cartographie de l'occupation du sol réalisée par le centre d'étude et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA).

- F (Forêt) : cela correspond au taux de recouvrement forestier à l'intérieur de la maille, 1 étant une maille peu forestière et inversement pour la catégorie 5. Cette variable est mesurée avec la cartographie de l'occupation du sol réalisée par le CEREMA.

- L (Luminosité) : cela correspond au niveau de qualité du ciel mesuré suite au travail de Dark Sky Lab. De la même façon, l'indice 1 correspond à une bonne qualité de ciel sur la maille qui diminue jusqu'à l'indice 5.

La combinaison de ces trois variables permet d'obtenir un code UFL pour chaque maille. Ce code va constituer l'élément de base pour le tirage aléatoire des mailles inventoriées. De plus, la présence d'eau sur chaque maille est considérée. En effet, les cours d'eau ou étendues d'eau sont attractifs pour les chiroptères, notamment pour certaines espèces qui y trouvent des terrains de chasse privilégiés. Aussi pour prendre en compte ce constat, la variable taux d'occupation de milieu humide a aussi été relevée et toutes les mailles ont été distinguées en deux catégories « EAU » et « SOL ». Les mailles SOL présentent un pourcentage nul de milieu humide à l'inverse des mailles EAU.

Avant de réaliser cette sélection, une attention a été portée aux effets de l'altitude. Il est en effet admis que la pollution lumineuse tout comme l'activité globale des chiroptères diminuent avec l'altitude (Barataud 2004). Aussi, pour limiter ce biais, le choix a été fait de retirer toutes les mailles présentant des altitudes supérieures à 1500m. En-deçà de cette limite, toute la gamme d'intensité lumineuse présente sur le PNP est bien représentée. Il reste alors 6417 mailles, soit 30% du maillage initial.

Tous ces éléments pris en compte, un tirage aléatoire des mailles a été effectué en respectant deux règles :

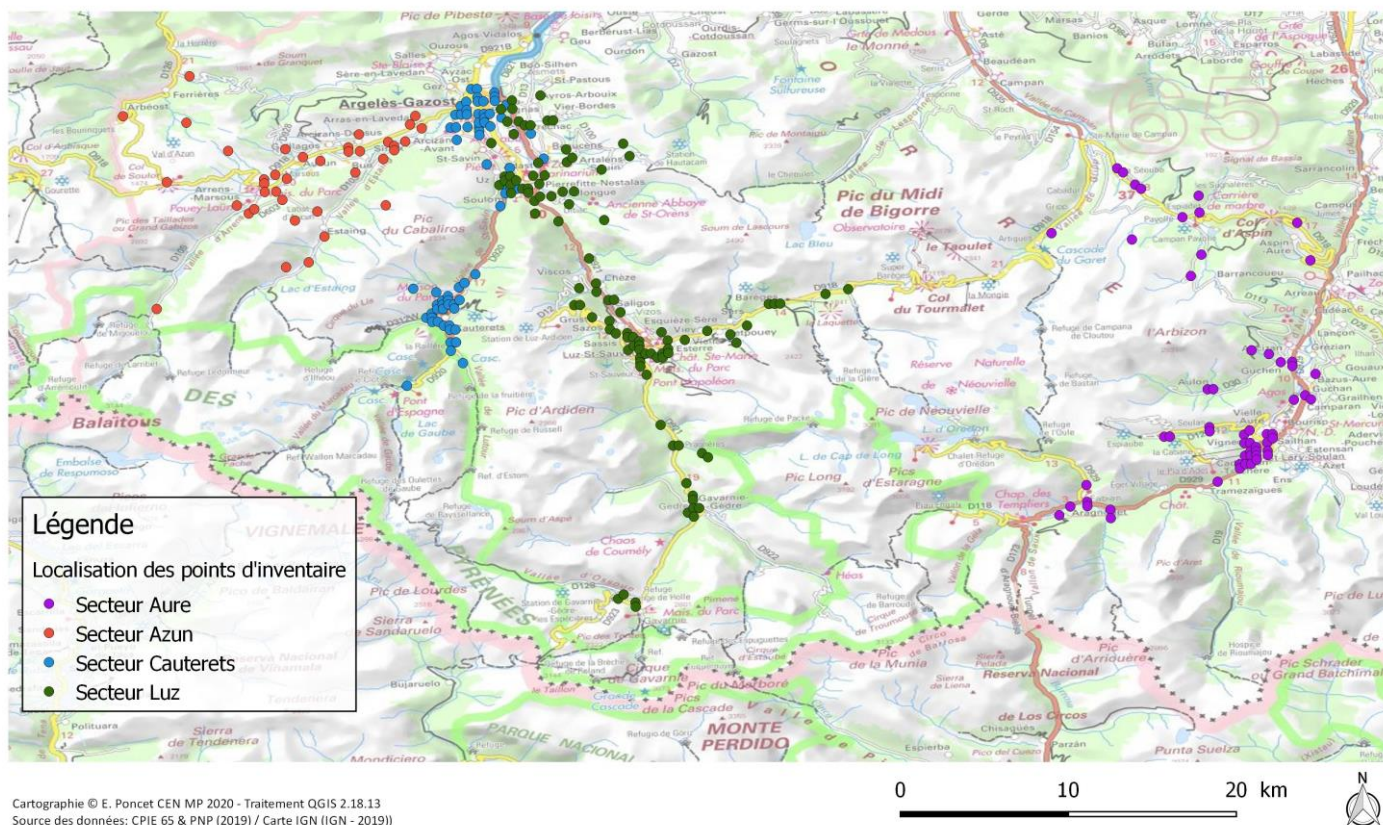
- autant de mailles EAU que de mailles SOL
- si possible, sélection de 3 mailles pour chaque combinaison UFL.

Le résultat de ce tirage donne 141 mailles EAU et 145 mailles SOL, soit 286 points à inventorier en deux années de terrain, 2018 et 2019. Un travail de validation de ces mailles a ensuite été fait en

validant les conditions de terrain (moins de 2km d'une voie d'accès, pente inférieure à 45% sur au moins la moitié de sa surface) sur carte IGN et avec les connaissances des agents du Parc.

La figure ci-dessous présente la localisation de tous les points d'inventaire.

Plan d'échantillonnage



Cartographie © E. Poncet CEN MP 2020 - Traitement QGIS 2.18.13
Source des données: CPIE 65 & PNP (2019) / Carte IGN (IGN - 2019)

Figure 1 : Présentation du plan d'échantillonnage

2.3.2. PROTOCOLE D'INVENTAIRE

L'inventaire repose sur l'enregistrement acoustique des chauves-souris sur la maille étudiée. Pour cela un enregistreur passif est posé au centre de la maille (ou en décalé selon les contraintes du terrain) et laissé en place deux nuits consécutivement. Pour cela, 10 enregistreurs de type Batlogger A+ (WIGUM) étaient disponibles sur les deux années d'étude et ont donc été posés simultanément à plusieurs reprises pour couvrir toutes les mailles sélectionnées. La période retenue pour l'étude s'étend de début juin à fin juillet, période de mise-bas et d'éducation des jeunes chez les chiroptères et donc de forte activité.

Le micro est fixé sur la végétation à 1,5m du sol et l'enregistrement débute automatiquement 30 minutes avant le coucher du soleil pour s'interrompre de la même façon 30 minutes après le lever pour optimiser le nombre de contacts. Ce protocole est très dépendant de la météo, les chiroptères

Rapport d'étude – Etude de la tolérance de deux espèces (Petit Rhinolophe et Grand Rhinolophe) et d'un groupe d'espèces (genre Myotis) à la pollution lumineuse
Conservatoire d'espaces naturels de Midi-Pyrénées

ne sortant pas ou peu quand il pleut trop fort toute la nuit. De la même façon, le bon fonctionnement des micros peut être impacté par l'humidité qui entraîne une perte d'efficacité voire une détérioration complète. Aussi, la météo observée a été relevée pour chaque point d'écoute et classée en quatre catégories : Claire, Nuageuse, Orageuse, Pluvieuse.

2.4. TRAITEMENT DES DONNEES

2.4.1. ANALYSE DES DONNEES ACOUSTIQUES

Les données acoustiques issues des Batlogger sont *in fine* analysées à l'aide du logiciel d'identification automatique Tadarida (Vigie-Chiro, MNHN). Toutefois, plusieurs étapes préalables sont nécessaires :

- formatage des séquences. La modélisation de l'activité des chiroptères est réalisée à l'aide de l'unité de base qu'est le contact. Un contact correspond à une séquence de 5 secondes au cours de laquelle l'espèce considérée est présente. Les enregistrements doivent donc être découpés à ce format grâce au logiciel Kaléidoscope (Wildlife Acoustics),
- saisie des localités sur Tadarida. Tous les points d'écoute doivent d'abord être saisis sur l'interface en ligne et libre d'accès du logiciel. Cette saisie fournit un numéro de maille et un numéro de point, propres à l'outil.
- saisie des participations sur Tadarida. Une fois les points localisés et saisis, il faut y associer une session d'inventaire, la participation. Elle regroupe les informations relatives à la date et au protocole utilisé. Cette saisie fournit un identifiant unique de participation.
- modification du nom des fichiers. Pour pouvoir être importés, tous les fichiers sons doivent être renommés avec des noms incluant le numéro du point et du carré. Pour une importation massive, un répertoire contenant tous les fichiers d'un même point doit être renommé avec l'identifiant de la participation.
- importation des fichiers. Les fichiers sont ensuite importés sous Tadarida pour être traités. Les résultats sont récupérés sous forme d'un fichier excel contenant pour chaque séquence une ou plusieurs identifications d'espèces avec un indice de confiance variant de 0,01 à 0,99.

Certaines séquences sont ensuite vérifiées manuellement à l'aide du logiciel Batsound (Barataud & Tupinier 2012)

La vérification manuelle de plus 4500 séquences sur 118 points de 2019 a permis d'établir pour chaque espèce concernée par cette étude une valeur de l'indice de confiance Tadarida en-deçà de laquelle le taux d'erreur de l'identification du logiciel est supérieur à 5%. Ce sont ces valeurs qui ont permis d'évaluer l'activité : pour chaque espèce, seules les séquences dont l'identification Tadarida a un indice de confiance supérieur ou égal à la valeur présentée dans le tableau ci-dessous sont conservées. Elles sont appliquées à tous les points d'écoute.

Tableau 1 : Calcul des indices de confiance retenus

<i>ID_Tadarida</i>	<i>NB points analysés</i>	<i>NB points de présence Tadarida</i>	<i>NB séquences analysées</i>	<i>Niveau d'ID</i>	<i>NB séquence OK</i>	<i>NB séquence HS</i>	<i>Taux d'erreur Tadarida</i>	<i>Seuil Tadarida retenu</i>
Petit Rhinolophe	118	87	1561	Rhi hip	1319	242	15,5%	0,22
Grand Rhinolophe	118	58	464	Rhi fer	332	132	28,45%	0,58

Murin d'Alcathoé	117	20	90	Myo sp	87	3	3,33%	0,01
Murin de Bechstein	117	3	8	Myo sp	4	4	50,00%	Non retenu
Murin de Capaccini	117	17	21	Myo sp	10	11	52,38%	Non retenu
Murin de Daubenton	117	52	265	Myo sp	207	58	21,89%	0,42
Murin à oreilles échancrées	117	77	360	Myo sp	262	98	27,22%	0,95
Grand / Petit Murin	117	12	87	Myo sp	78	9	10,34	0,10
Murin à moustaches	117	87	1346	Myo sp	1136	210	15,60%	0,16
Murin de Natterer	117	52	347	Myo sp	248	99	28,53%	0,97

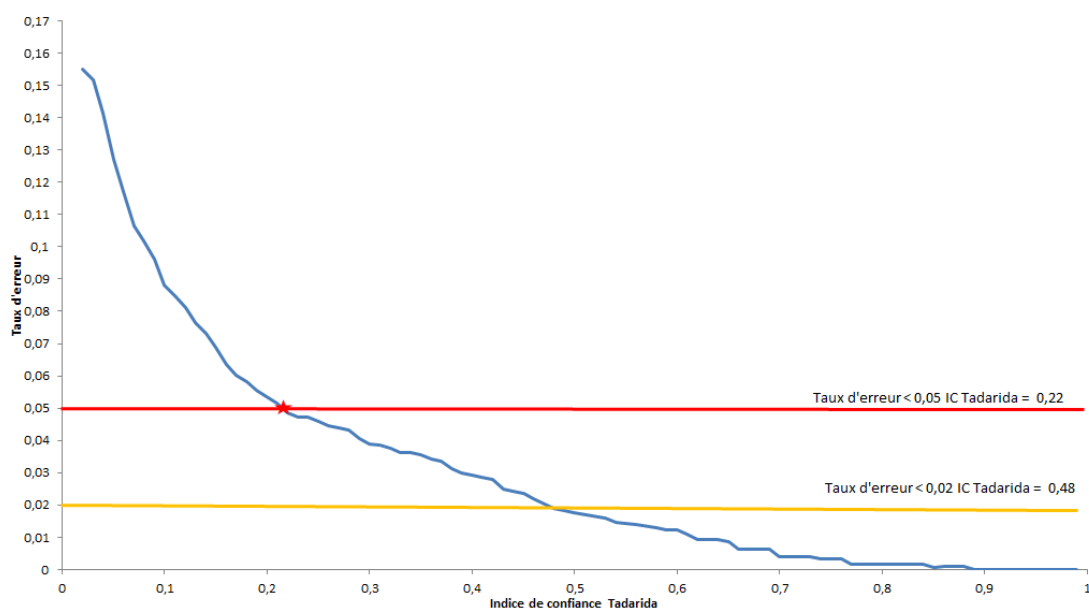


Figure 2 : Evolution du taux d'erreur de l'identification Tadarida selon l'indice de confiance pour le Petit Rhinolophe

2.4.2. PRESENTATION DES VARIABLES

a - Variables réponses

Les variables réponses utilisées dans cette étude correspondent à deux indicateurs, l'activité et la probabilité de présence observées pour les taxons étudiés. L'activité est déterminée sur la base du traitement automatique fait par le logiciel Tadarida selon la méthodologie décrite précédemment et correspond au nombre de contacts enregistré sur chaque point d'écoute pour les deux espèces cibles que sont le Petit Rhinolophe et le Grand Rhinolophe et le genre Murin. La probabilité de présence prend la forme d'une variable binaire, 1 pour présence, 0 pour absence, calculée de la même façon mais sans tenir compte du nombre de contacts.

b - Variables environnementales

Il s'agit des variables utilisées pour expliquer la distribution des variables réponses. La variable d'intérêt pour répondre à la question initiale est la qualité du ciel mais d'autres variables environnementales ont été mesurées, car susceptibles d'influer sur l'activité des chauves-souris.

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques des variables environnementales utilisées dans cette étude sur les 284 points.

Tableau 2 : Caractéristiques des variables environnementales

Nom	ID	médiane	[min ; max]	moyenne	écart-type	unité
Qualité du ciel	QC	19,850	[17,72 ; 21,4]	19,891	0,883	mag.arsec ²
Recouvrement urbain	SU	26,92	[0 ; 100]	31,75	25,81	%
Milieux forestiers	SF	28,57	[0 ; 98,3]	32,77	27,70	%
Milieux humides	SH	0,01	[0 ; 22,3]	1,82	3,10	%
Distance à l'eau la plus proche	D_eau	125,95	[0,15 ; 1032,7]	165,8	169,13	m
Milieux ouverts	SO	29,75	[0 ; 100]	33,65	26,40	%
Altitude	Alt	841	[421 ; 1493]	859	289	m

Toutes ces variables seront conservées dans l'analyse à l'exception du taux de milieu humide. Jugée plus pertinente, nous avons en effet fait le choix de n'utiliser que la distance à l'eau la plus proche pour évaluer l'effet des milieux aquatiques sur l'activité des chauves-souris.

Nb : l'unité utilisée pour mesurer la qualité du ciel est la magnitude par seconde d'arc au carré (mag.arsec²), c'est-à-dire la brillance du fond de ciel dans un carré d'une seconde d'arc de côté. Une mauvaise qualité du ciel correspond ainsi aux valeurs les plus faibles (< 19mag.arsec² environ) et inversement. La luminosité naturelle du fond de ciel, sans Lune, est en moyenne estimée à 21,6 mag.arsec² et le niveau d'un ciel pur idéal serait de 24 mag.arsec² (cf. Dark Sky Lab).

c - Variables expérimentales

Il s'agit des variables liées à la mise en œuvre du protocole et qui peuvent également influencer sur la distribution des variables réponses. Deux principales sont retenues ici :

- **Durée d'enregistrement.** Celle-ci est censée être fixée par le protocole (deux nuits d'écoute pour chaque point avec début 30min avant coucher du soleil, arrêt 30min après lever). Néanmoins, ces horaires de démarrage et d'arrêt sont fixés automatiquement par l'enregistreur selon la localisation et la date qui influent toutes deux sur les horaires du soleil. Aussi, il peut y avoir de légères variations entre début juin et fin juillet. Plus important, des problèmes techniques ont été constatés sur les enregistreurs pour certains points (épuisement des piles, saturation des cartes mémoire, etc.). Ces problèmes ont généré des variations plus importantes de la durée d'enregistrement, les points à problème n'ayant pas pu être tous ré-inventoriés. Enfin, pour des raisons logistiques, certains enregistreurs ont été laissés sur un même point 3 nuits consécutives.

Il s'agit d'une variable quantitative exprimée en minutes : $\mu = 1185$; $\sigma = 179$; $\min = 180$; $\max = 1890$.

- Année. L'étude a été menée en 2018 et en 2019 à des périodes similaires de fin mai à début août. En l'absence de données météorologiques homogènes et précises, l'année sera prise en compte comme un facteur aléatoire pour quand même tenir compte d'éventuelles conditions différentes d'une année sur l'autre. De plus, cela permet de prendre aussi en considération d'éventuelles variations naturelles d'effectifs dans les colonies du secteur.

2.4.3. ANALYSE STATISTIQUES

Pour étudier ces données, plusieurs outils statistiques ont été utilisés à l'aide du logiciel R et de sa plateforme RStudio.

- Etude des corrélations : pour chacun des trois taxons étudiés, les corrélations entre chaque variable sont étudiées à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson. Les résultats seront représentés sous la forme de matrices de corrélation.

Package(s) utilisé(s) : Corrplot (Wei & Simko 2017)

- Visualisation des résultats en ACP : les relations entre l'activité et les variables étudiées sont projetées graphiquement grâce à une analyse en composantes principales.

Package(s) utilisé(s) : Factoextra (Kassambara & Mundt 2020).

- Modélisation des résultats : pour chaque espèce, les résultats sont modélisés avec des modèles additifs généralisés (GAM). Le meilleur modèle est obtenu en calculant les valeurs AIC de tous les modèles possibles selon les combinaisons possibles de variables. Le modèle obtenant la valeur la plus basse est retenu.

Package(s) utilisé(s) : MuMIn (Bartoń 2020) et Mgcv (Wood 2011)

Les scripts utilisés ont été écrits par Émeline Fraisse et appliqués ici avec l'appui d'Alexandre Garnier du PNP et d'Alexis Laforge thésard au CEN Midi-Pyrénées et à l'INRA Dynafor.

3. PRESENTATION DES RESULTATS

Plusieurs problèmes techniques ont été rencontrés avec les enregistreurs lors de la phase d'inventaire. Aussi, sur les 286 points programmés dans le plan d'échantillonnage initial, 18 ne sont pas exploitables. La présentation des résultats et leur analyse porteront donc sur 268 points d'écoute.

3.1. RESULTATS GLOBAUX

Le tableau ci-dessous présente les résultats globaux obtenus sur les 268 points.

Tableau 3 : Présentation des résultats pour les trois taxons étudiés

Taxon	N présence	médiane	[min ; max]	moyenne	écart-type
<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800)	190	3	[0 ; 417]	12	35
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreber, 1774)	114	0	[0 ; 672]	6	43
<i>Myotis sp.</i>	193	2	[0 ; 1157]	16	76

Par ailleurs, une analyse plus large a été faite sur les 118 points de 2019 afin de valoriser les enregistrements et obtenir pour tous ces points une liste d'espèces validée manuellement. Ce travail a permis de produire plus de mille données de présence pour 22 espèces (sur les 30 répertoriées dans le parc). Ces données n'ont toutefois pas été utilisées dans l'étude.

Tableau 4 : Occurrences de toutes les espèces détectées sur les 118 points de 2019

Espèce	N	Espèce	N
<i>Rhinolophus hipposideros</i> (Bechstein, 1800)	74	<i>Nyctalus leisleri</i> (Kuhl, 1817)	87
<i>Rhinolophus euryale</i> (Blasius, 1853)	5	<i>Hypsugo savii</i> (Bonaparte, 1837)	60
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i> (Schreber, 1774)	47	<i>Pipistrellus kuhlii</i> (Kuhl, 1817)	85
<i>Tadarida teniotis</i> (Rafinesque, 1814)	45	<i>Pipistrellus nathusii</i> (Keyserling & Blasius, 1839)	8
<i>Miniopterus schreibersii</i> (Kuhl, 1817)	7	<i>Pipistrellus pipistrellus</i> (Schreber, 1774)	104
<i>Barbastella barbastellus</i> (Schreber, 1774)	77	<i>Pipistrellus pygmaeus</i> (Leach, 1825)	10
<i>Plecotus auritus</i> (Linné, 1758)	1	<i>Myotis myotis</i> / <i>blythii</i>	3
<i>Plecotus austriacus</i> (Fischer, 1829)	3	<i>Myotis alcathoe</i> Helversen & Heller, 2001	14
<i>Eptesicus serotinus</i> (Schreber, 1774)	87	<i>Myotis daubentonii</i> (Kuhl, 1817)	1
<i>Nyctalus lasiopterus</i> (Schreber, 1780)	3	<i>Myotis emarginatus</i> (E. Geoffroy, 1806)	15
<i>Nyctalus noctula</i> (Schreber, 1774)	10	<i>Myotis nattereri</i> (Kuhl, 1817)	25

3.2. PETIT RHINOLOPHE — RHINOLOPHUS HIPPOSIDEROS (BECHSTEIN, 1800)

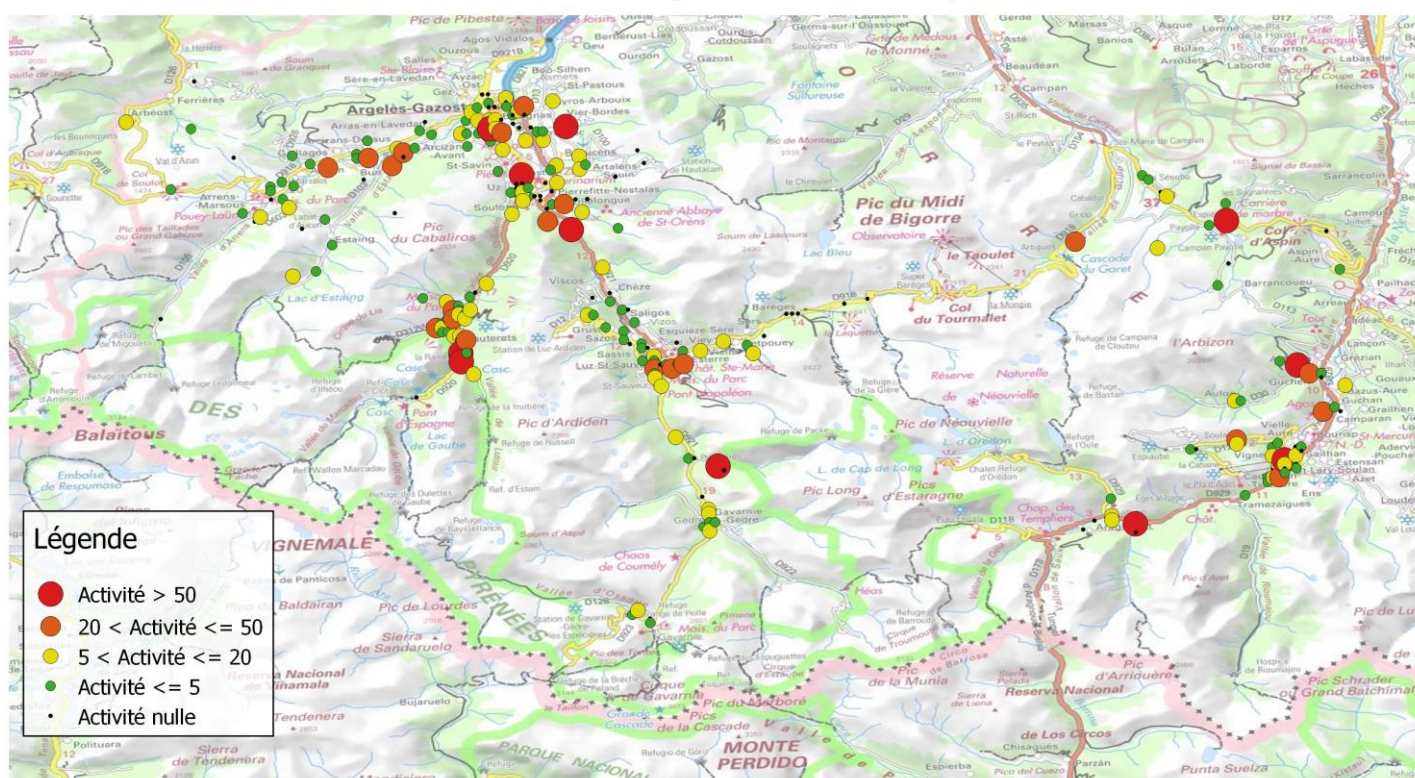
3.2.1. DESCRIPTION DES RESULTATS

Le Petit Rhinolophe a été détecté au moins une fois sur 190 points d'écoute pour une moyenne globale de 12 contacts et de 16 en ne considérant que ces points positifs. L'activité la plus importante, avec 417 contacts, a été observée entre les 07 et 09 juin 2018 près de la fontaine de Calibère située entre Lau Balagnas et Arcizans-Avant. Parmi les 168 points retenus pour l'analyse, 11 présentent une activité supérieure à 50 contacts. A l'inverse aucun Petit Rhinolophe n'est détecté sur 78 points. Les figures ci-dessous présentent l'ensemble des résultats obtenus pour cette espèce.



Etude de la tolérance de deux espèces (Petit Rhinolophe et Grand Rhinolophe) et d'un groupe d'espèces (genre Murin) à la pollution lumineuse

Activité observée pour le Petit Rhinolophe



Cartographie © E. Poncet CEN MP 2020 - Traitement QGIS 2.18.13
Source des données: CPIE 65 & PNP (2019) / Carte IGN (IGN - 2019)

0 10 20 km



Figure 3 : Activité observée sur chaque point d'écoute pour le Petit Rhinolophe

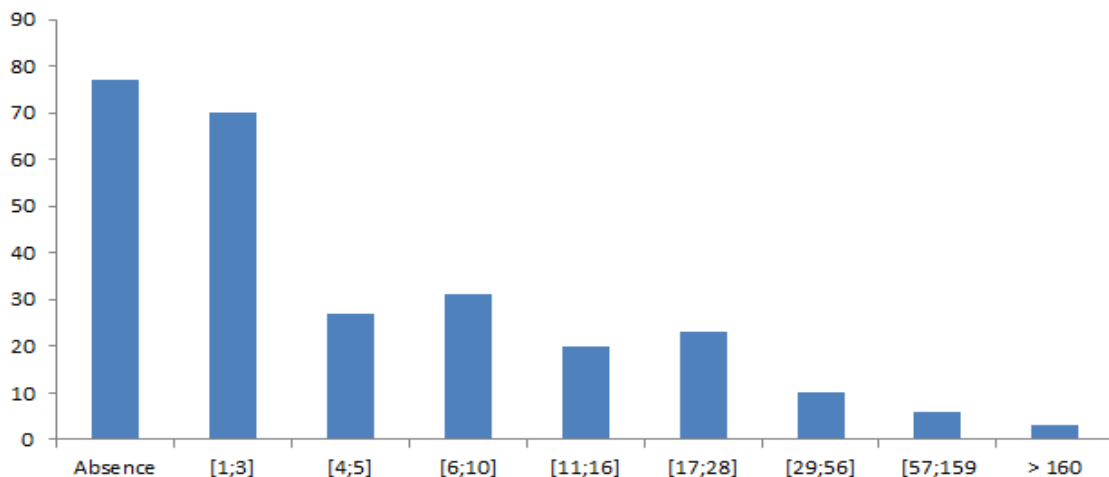


Figure 4 : Nombre de points en fonction de l'activité enregistrée
** classes définies selon la méthode des moyennes emboîtées*

Pour la suite des analyses, les valeurs extrêmes supérieures, qui correspondent à la classe d'activité la plus élevée seront retirées du jeu de données (en l'occurrence ici 3 points avec une activité supérieure à 160 contacts). La figure ci-dessous présente la réponse de l'activité du Petit Rhinolophe en fonction de la qualité du ciel.

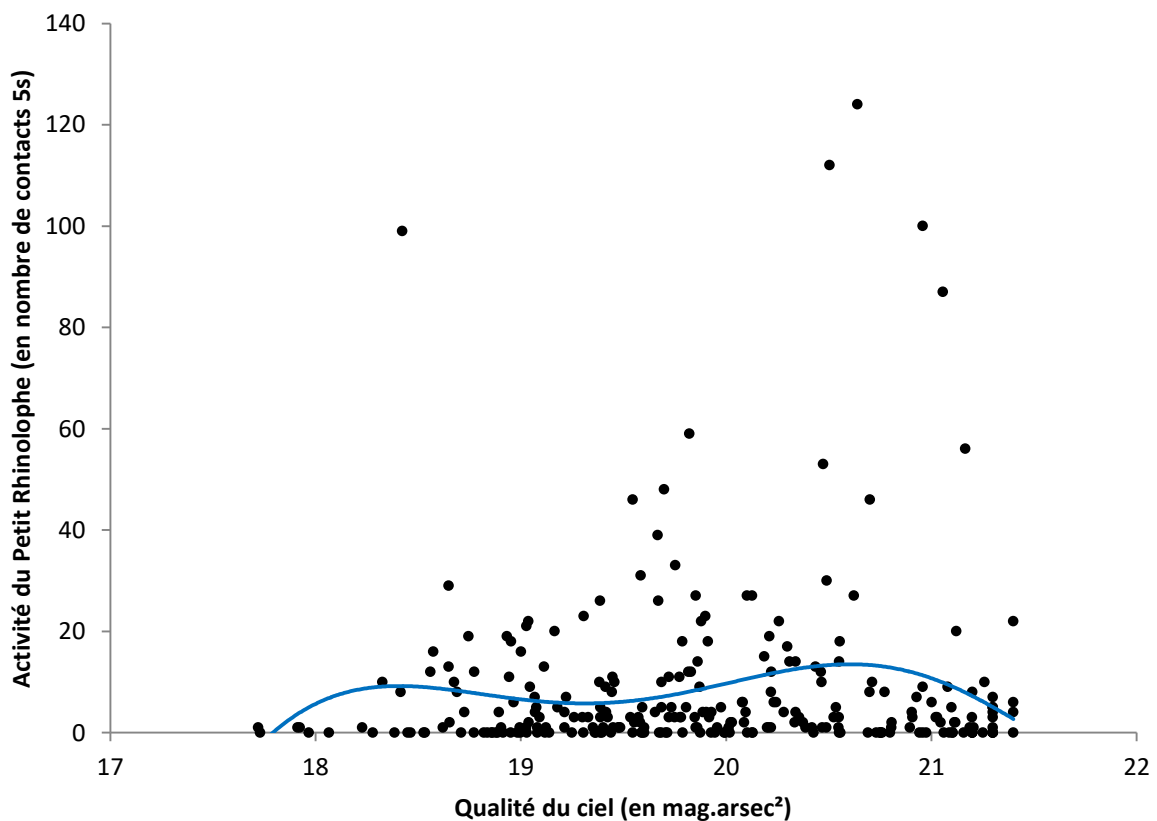


Figure 5 : Activité du Petit Rhinolophe (en nombre de contacts 5s) en fonction de la qualité du ciel (en mag.arcsec²)
**avec courbe de tendance polynomiale d'ordre 6*

3.2.2. MODELISATION DES RESULTATS

a - Corrélation des variables

Pour la modélisation des résultats du Grand Rhinolophe, 8 variables ont été utilisées (QC, SF, SU, SO, D_Eau, Alti, Duree_min et Date). A l'exception de cette dernière, elles sont toutes quantitatives et leurs corrélations sont étudiées dans la figure ci-dessous.

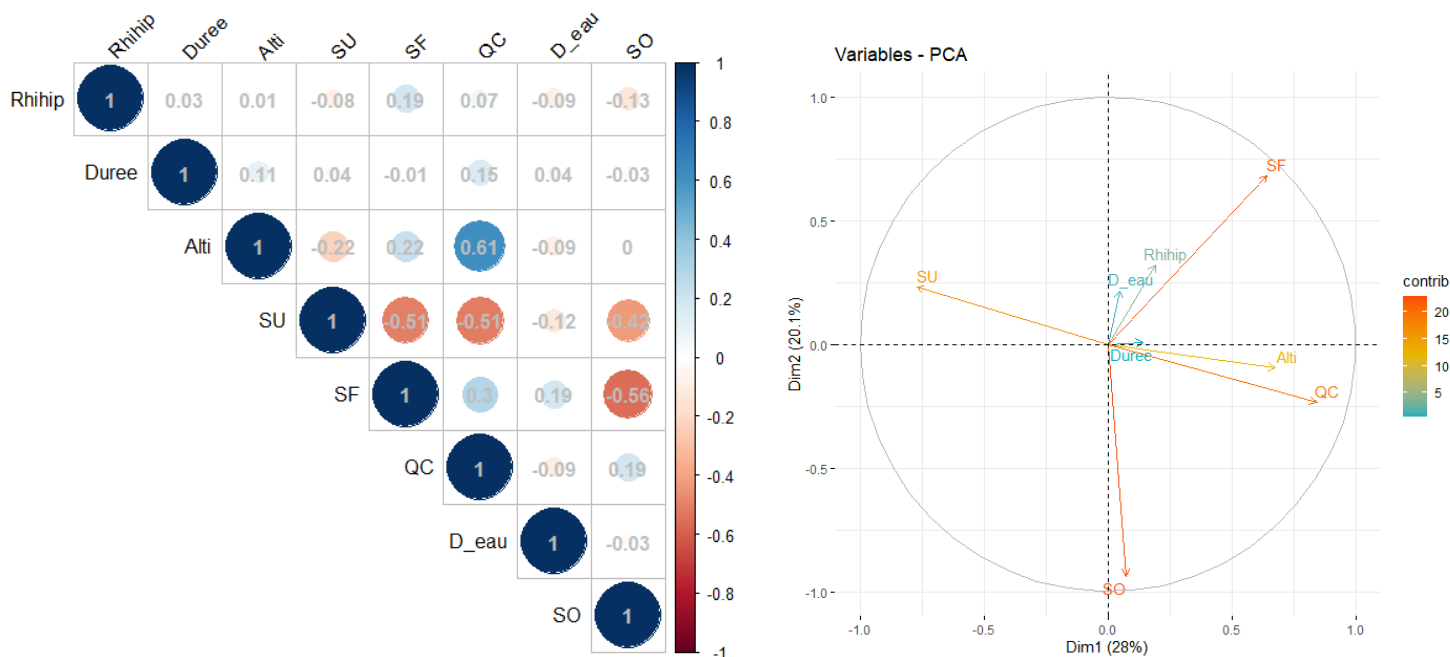


Figure 6 : Présentation des corrélations obtenues pour les variables utilisées dans l'étude du Petit Rhinolophe. Matrice de corrélation à gauche avec coefficients significatifs à 0,05 s'il y a des ronds colorés et projection ACP à droite.

Plusieurs corrélations apparaissent entre les variables considérées. Néanmoins, les valeurs des coefficients ne sont jamais supérieures à 0,7 ou inférieures à -0,7. Aussi, nous conserverons toutes les variables dans l'analyse.

Ainsi, pour la modélisation de l'activité du Petit Rhinolophe, nous utiliserons 7 variables explicatives (QC, SF, SU, SO, D_Eau, Alti et Duree_min) et 1 facteur fixe qu'est l'année d'écoute.

b - Meilleur modèle et résultats - Activité

Le meilleur modèle retenu pour expliquer l'activité observée du Petit Rhinolophe retient deux variables explicatives, le taux de surface forestière et la distance à l'eau la plus proche. Notons que le facteur Année est également retenu. La valeur d'AICc est de 2237,8. Pour pouvoir malgré tout étudier l'effet de la qualité du ciel, celle-ci a été ajoutée dans le modèle mais elle ne sera pas prise en compte pour modéliser l'effet des deux variables initialement retenues.

Les résultats de ce modèle sont les suivants :

Family: gaussian
Link function: identity

Formula:
Rhihip ~ s(SF, k = 4) + s(QC, k = 4) + s(D_eau, k = 4) + factor(Annee)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	6.397	1.303	4.910	1.61e-06 ***
factor(Annee)2019	5.128	2.041	2.512	0.0126 *

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

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	F	p-value
s(SF)	1.000	1.000	10.743	0.00119 **
s(QC)	1.000	1.000	0.022	0.88129
s(D_eau)	1.414	1.704	2.192	0.07931 .

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

R-sq.(adj) = 0.0614 Deviance explained = 7.71%
GCV = 272.02 Scale est. = 266.46 n = 265

Ces résultats montrent que l'activité du petit Rhinolophe augmente de manière significative lorsque le taux de milieux forestier s'élève (cf. figure 8a.) et de manière quasi-significative avec la proximité de l'eau (cf. figure 8b). En revanche, la qualité du ciel ne semble pas avoir d'effet évident sur l'activité de cette espèce (cf. figure 7). Enfin, l'année d'écoute a eu un effet sur les résultats observés car l'activité enregistrée est globalement plus élevée en 2019.

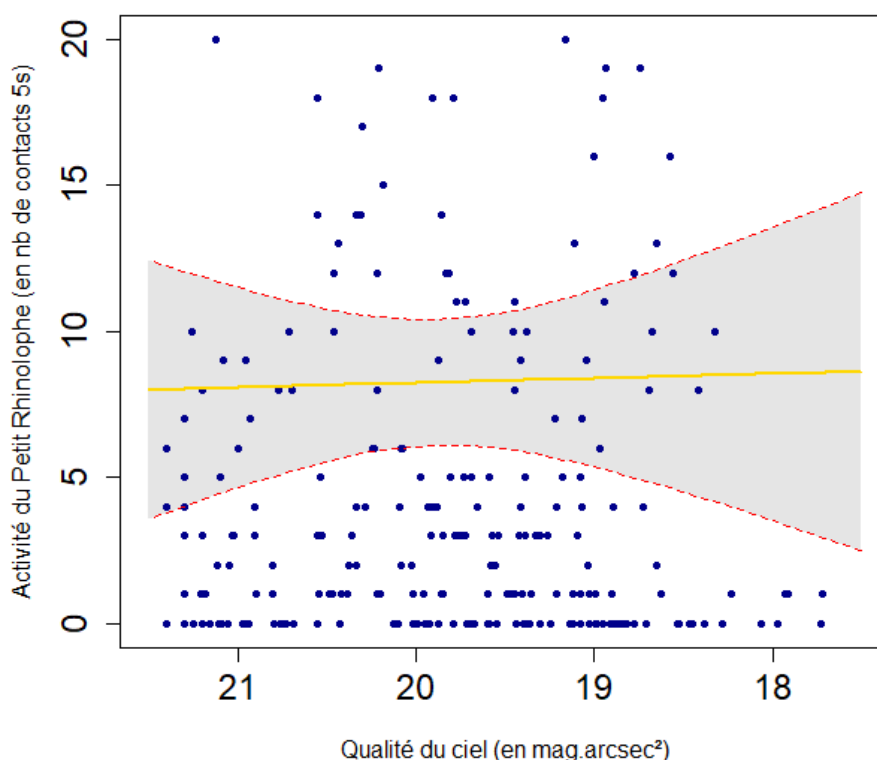


Figure 7 : Prédiction de l'activité du Petit Rhinolophe en fonction de la qualité du ciel

* en tenant compte des deux autres variables retenues dans le meilleur modèle, taux de milieux forestiers et distance à l'eau la plus proche

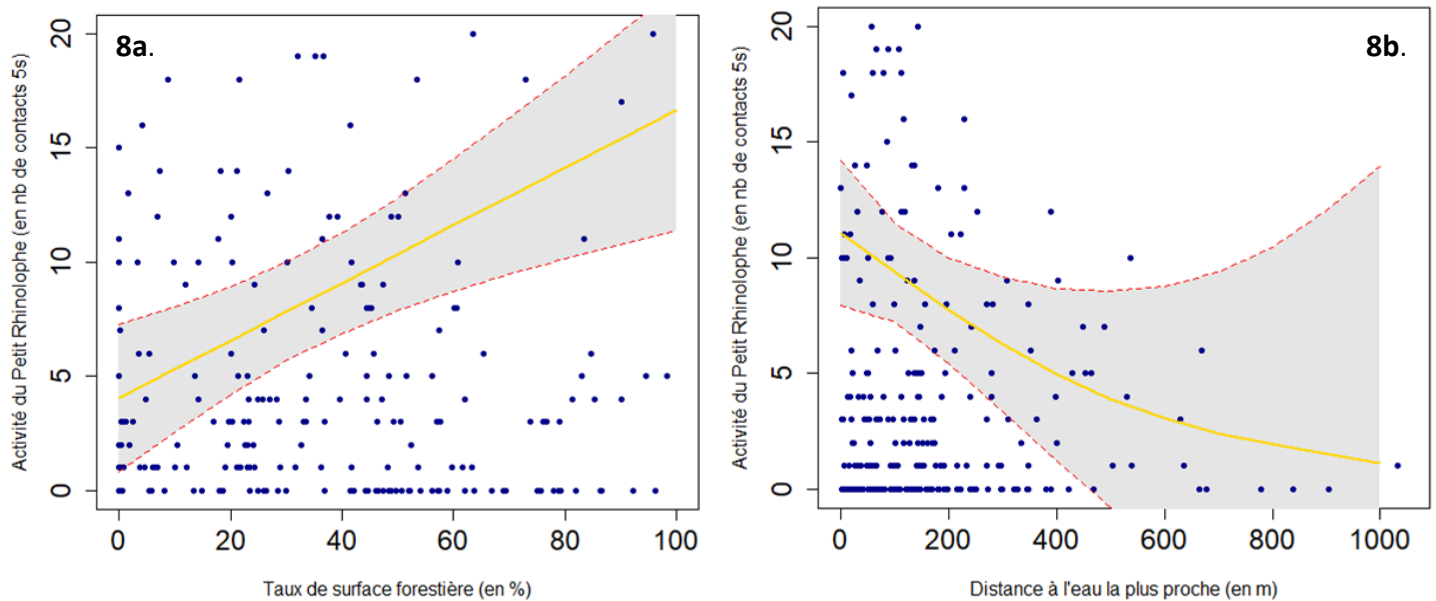


Figure 8 : Prédiction de l'activité du Petit Rhinolophe en fonction du taux de milieux forestiers (8a.) et de la distance à l'eau la plus proche (8b.)

** en tenant compte de l'autre variable retenue dans le meilleur modèle*

c - Meilleur modèle et résultats – Probabilité de présence

Le meilleur modèle retenu pour expliquer la présence du Petit Rhinolophe retient trois variables explicatives, le taux de surface forestière, l'altitude et la durée d'enregistrement. La valeur d'AICc est de 303,9. Pour pouvoir malgré tout étudier l'effet de la qualité du ciel, celle-ci a été ajoutée dans le modèle mais elle ne sera pas prise en compte pour modéliser l'effet des autres variables initialement retenues.

Les résultats de ce modèle sont les suivants :

Family: binomial

Link function: logit

Formula:

$Rhip_{P.A} \sim s(SF, k = 4) + s(QC, k = 4) + s(Duree, k = 4) + s(Alti, k = 4)$

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	0.9776	0.1468	6.661	2.73e-11 ***

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

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(SF)	2.840	2.979	9.745	0.0316 *
s(QC)	1.662	2.031	2.262	0.3508
s(Duree)	1.000	1.000	6.256	0.0124 *
s(Alti)	1.906	2.283	5.392	0.0976 .

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

R-sq.(adj) = 0.0978 Deviance explained = 10.6%

UBRE = 0.14722 Scale est. = 1

n = 265

Les résultats du modèle et les figures ci-dessous ne montrent pas d'effet de la qualité du ciel sur la présence du Petit Rhinolophe (cf. figure 9). En revanche, ces mêmes résultats indiquent un effet significatif du taux de surface forestière bien que la figure 10a ne permette pas de le caractériser plus précisément. Enfin, l'altitude a un effet quasi-significatif qui semble négatif à la lecture de la figure 10b.

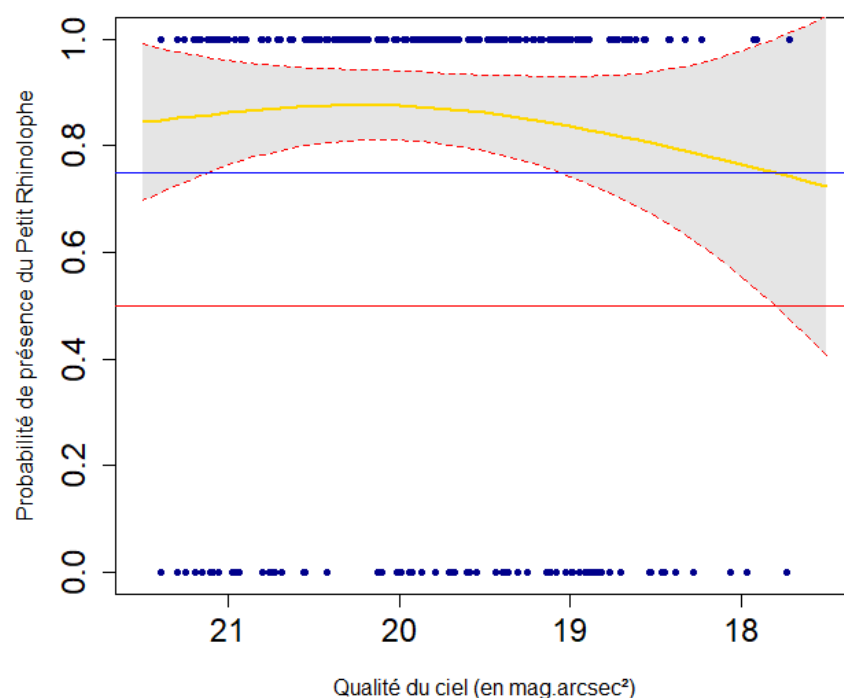


Figure 9 : Prédiction de la probabilité de présence du Petit Rhinolophe en fonction de la qualité du ciel

* en tenant compte des trois autres variables retenues dans le meilleur modèle, taux de milieux forestiers, l'altitude et la durée d'enregistrement

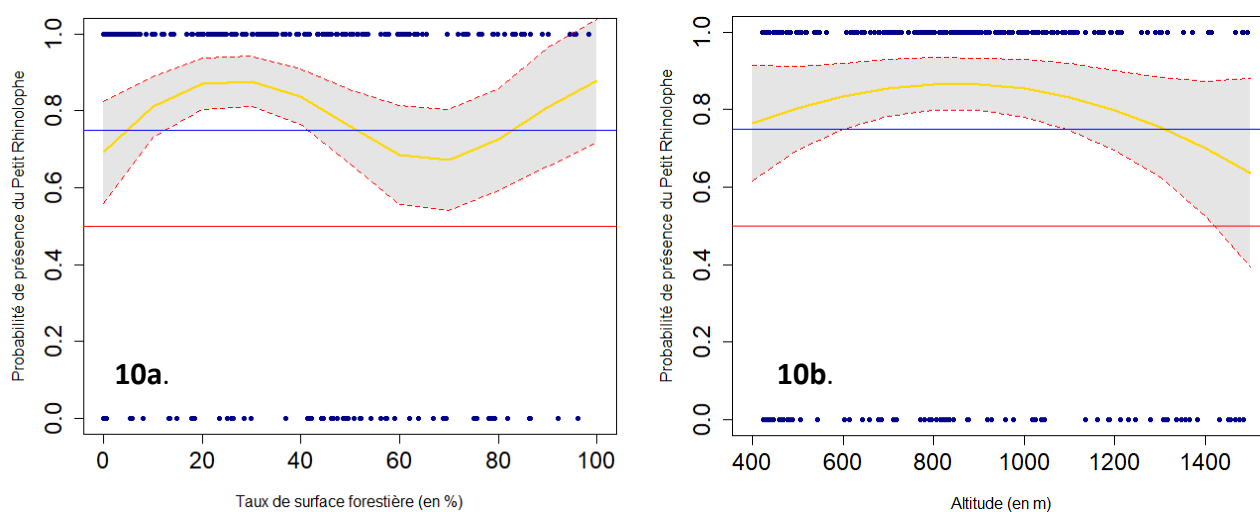


Figure 10 : Prédiction de la probabilité de présence du Petit Rhinolophe en fonction du taux de milieux forestiers (10a.) et de l'altitude (10b.)

* en tenant compte des autres variables retenues dans le meilleur modèle

3.3. GRAND RHINOLOPHE — RHINOLOPHUS FERRUMEQUINUM (SCHREBER, 1774)

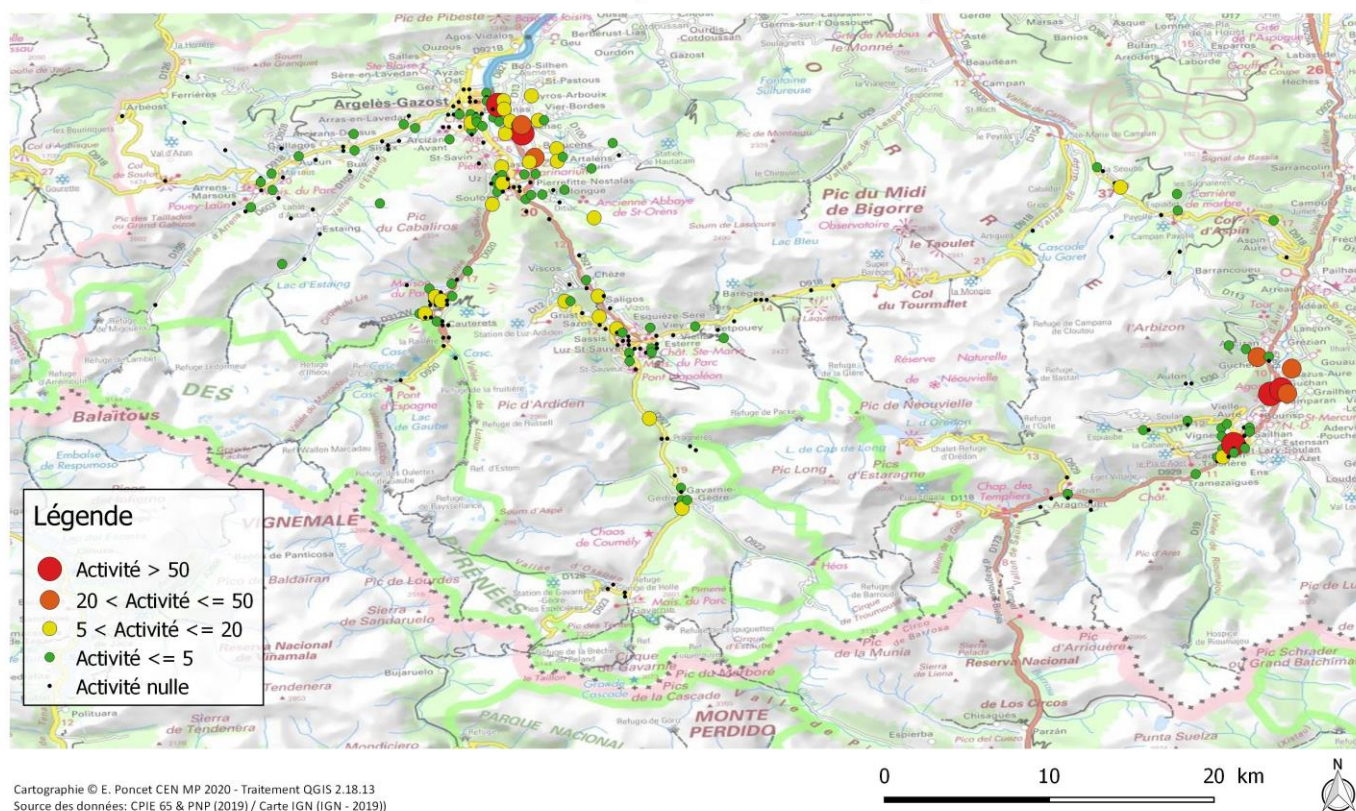
3.3.1. DESCRIPTION DES RESULTATS

Le Grand Rhinolophe a été détecté au moins une fois sur 114 points d'écoute pour une moyenne globale de 6 contacts et de 14 en ne considérant que ces points positifs. L'activité la plus importante, avec 672 contacts, a été observée entre les 22 et 24 juin 2018 en vallée d'Aure à proximité du lac d'Agos. Parmi les 168 points retenus pour l'analyse, 5 présentent une activité supérieure à 50 contacts. A l'inverse aucun Grand Rhinolophe n'est détecté sur 154 points. Les figures ci-dessous présentent l'ensemble des résultats obtenus pour cette espèce.



Etude de la tolérance de deux espèces (Petit Rhinolophe et Grand Rhinolophe) et d'un groupe d'espèces (genre Murin) à la pollution lumineuse

Activité observée pour le Grand Rhinolophe



Cartographie © E. Poncet CEN MP 2020 - Traitement QGIS 2.18.13
Source des données: CPIE 65 & PNP (2019) / Carte IGN (IGN - 2019))

Figure 11 : Activité observée sur chaque point d'écoute pour le Grand Rhinolophe

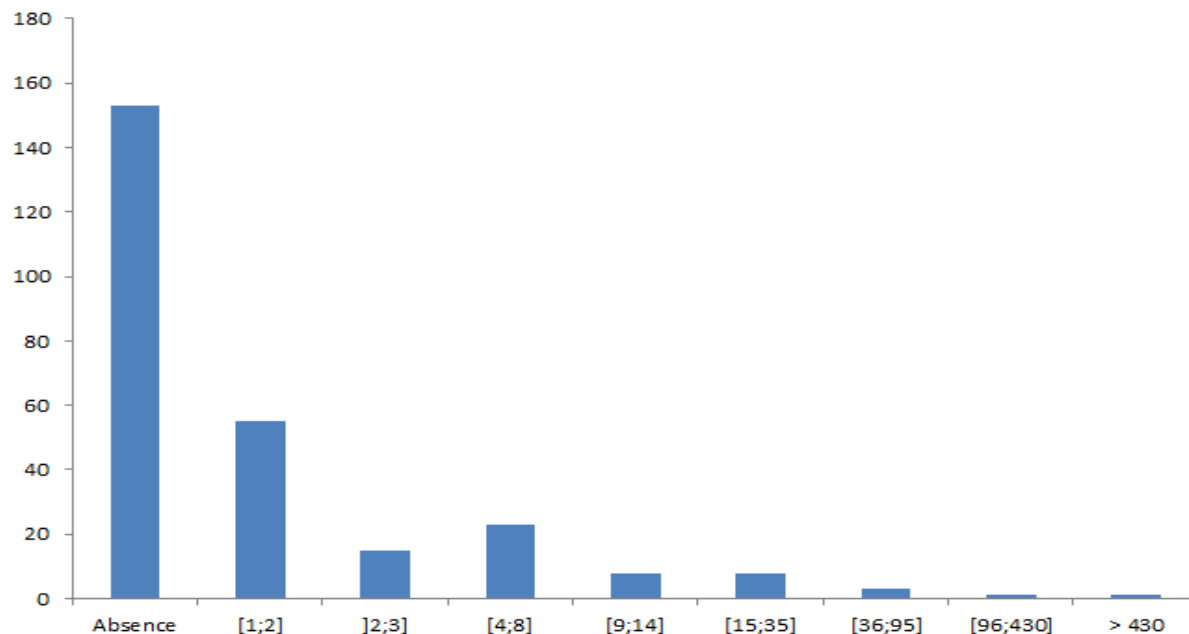


Figure 12 : Nombre de points en fonction de l'activité enregistrée
** classes définies selon la méthode des moyennes emboîtées*

Pour la suite des analyses, les valeurs extrêmes supérieures, qui correspondent aux deux classes d'activité les plus élevées seront retirées du jeu de données (en l'occurrence ici 2 points avec une activité supérieure à 96 contacts). La figure ci-dessous présente la réponse de l'activité du Grand Rhinolophe en fonction de la qualité du ciel.

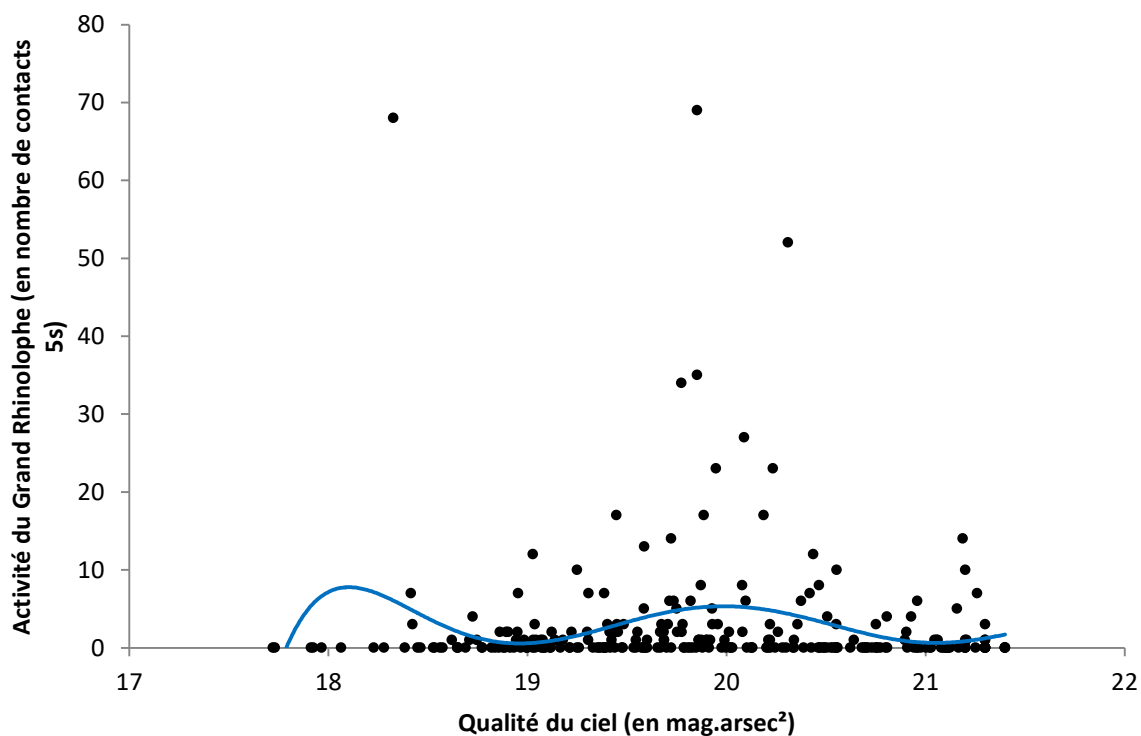


Figure 13 : Activité du Grand Rhinolophe (en nombre de contacts 5s) en fonction de la qualité du ciel (en mag.arcsec²)
**avec courbe de tendance polynomiale d'ordre 6*

3.3.2. MODELISATION DES RESULTATS

a - Corrélation des variables

Pour la modélisation des résultats du Grand Rhinolophe, 8 variables explicatives ont été utilisées (QC, SF, SU, SO, D_Eau, Alti, Duree_min et Date). A l'exception de cette dernière, elles sont toutes quantitatives et leurs corrélations sont étudiées dans la figure ci-dessous.

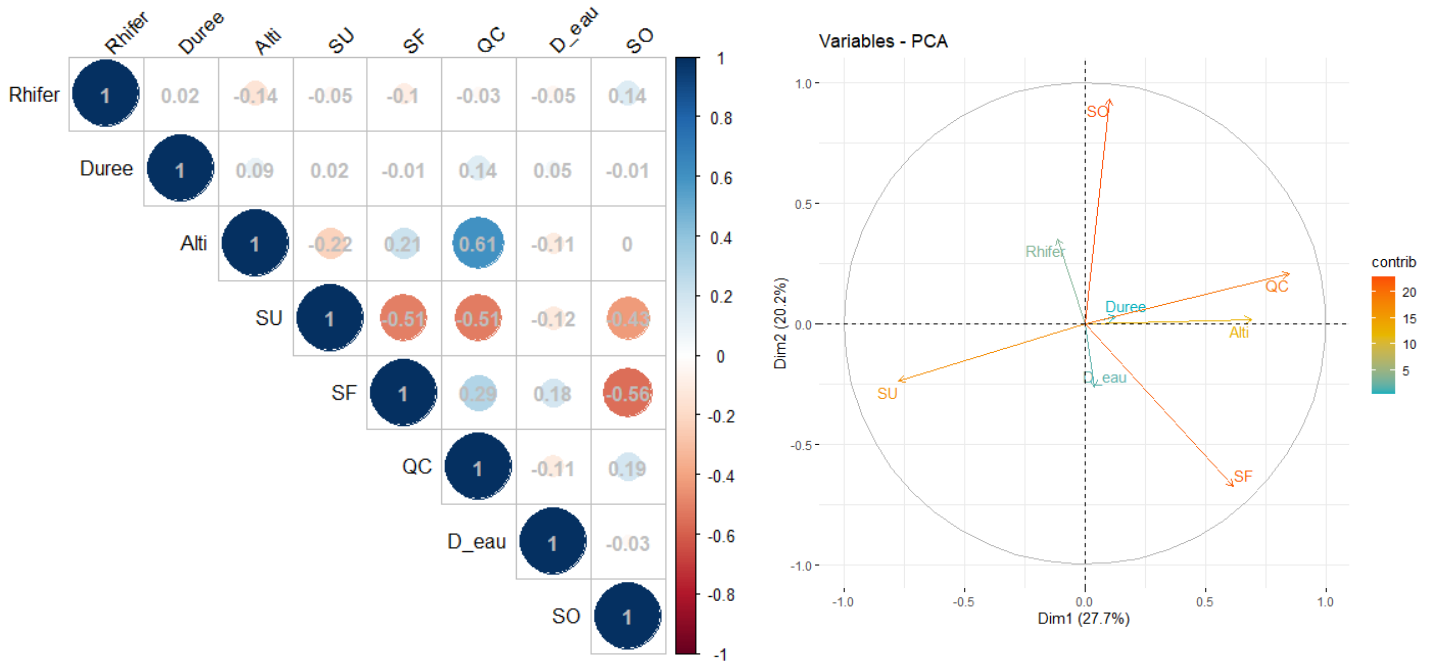


Figure 14 : Présentation des corrélations obtenues pour les variables utilisées dans l'étude du Grand Rhinolophe. Matrice de corrélation à gauche avec coefficients significatifs à 0,05 s'il y a des ronds colorés et projection ACP à droite.

Plusieurs corrélations apparaissent entre les variables considérées. Néanmoins, les valeurs des coefficients ne sont jamais supérieures à 0,7 ou inférieures à -0,7. Aussi, nous conserverons toutes les variables dans l'analyse.

Ainsi, pour la modélisation de l'activité du Grand Rhinolophe, nous utiliserons 7 variables explicatives (QC, SF, SU, SO, D_Eau, Alti, Duree_min) et 1 facteur fixe qu'est l'année d'écoute.

b - Meilleur modèle et résultats - Activité

Le meilleur modèle retenu pour expliquer l'activité observée du Grand Rhinolophe retient trois variables explicatives, le taux de milieux ouverts, la qualité du ciel et l'altitude. La valeur d'AICc est de 1863.

Les résultats de ce modèle sont les suivants :

Family: gaussian
Link function: identity

```

Formula:
Rhifer ~ s(SO, k = 4) + s(QC, k = 4) + s(Alti, k = 4)

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    2.759      0.485    5.69 3.42e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df      F p-value
s(SO)       1.000  1.000  5.550  0.0192 *
s(QC)       2.593  2.881  1.831  0.2415
s(Alti)     1.000  1.000  2.775  0.0969 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) =  0.0449   Deviance explained = 6.15%
GCV = 63.912   Scale est. = 62.568       n = 266

```

Ces résultats et la figure 16a ci-dessous montrent d'abord que l'activité du Grand Rhinolophe augmente de manière significative lorsque le taux de milieux ouverts s'élève. Ensuite, la seconde variable du modèle, l'altitude, a elle un effet négatif qui apparaît quasi-significative dans les résultats. Enfin, la qualité du ciel semble aussi avoir un effet positif mais celui-ci n'est pas significatif. Les trois figures ci-dessous montrent les prédictions d'activité pour chacune de ces trois variables.

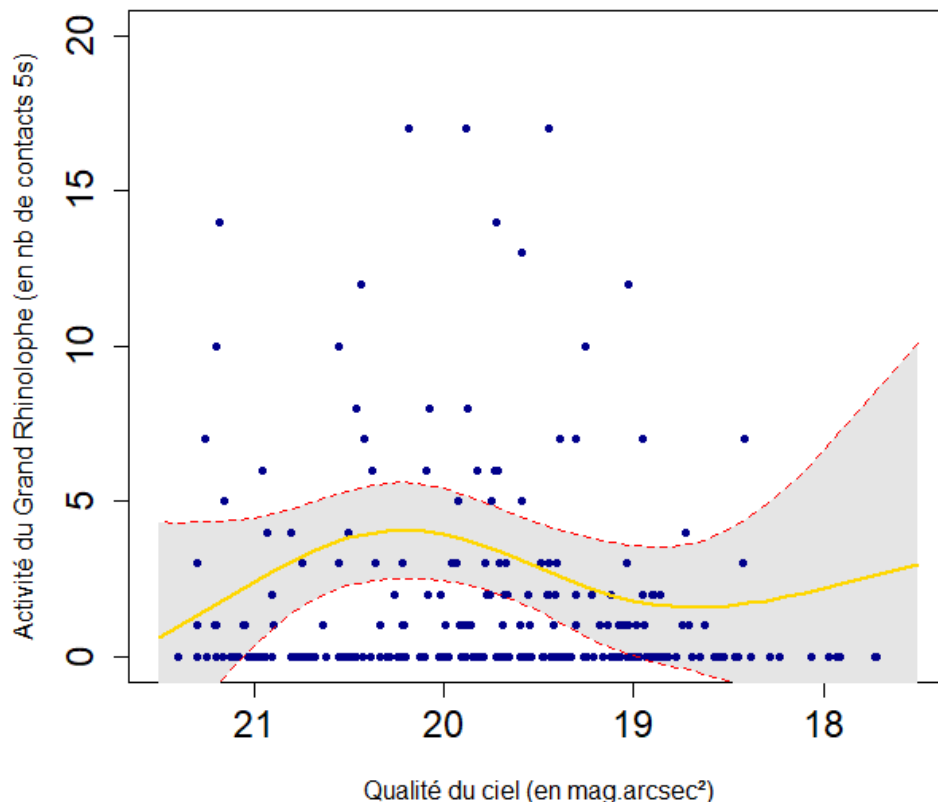


Figure 15 : Prédiction de l'activité du Grand Rhinolophe en fonction de la qualité du ciel
** en tenant compte des deux autres variables retenues dans le meilleur modèle, taux de milieux ouverts et altitude*

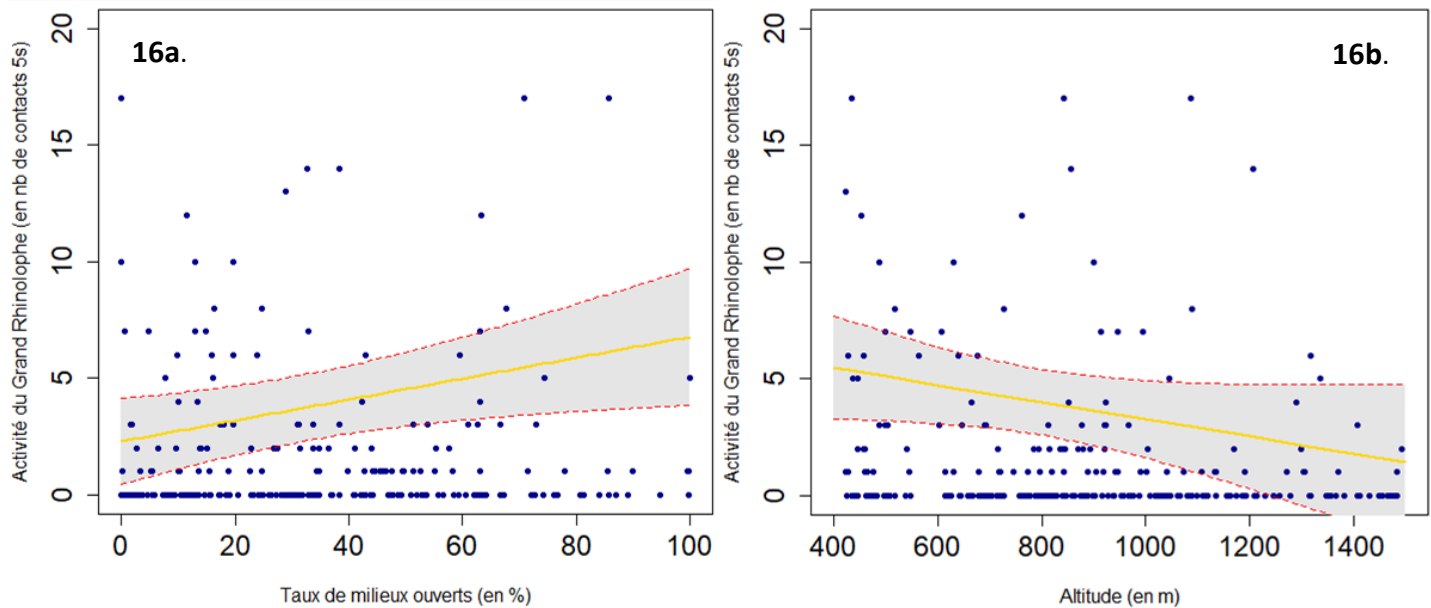


Figure 16 : Prédiction de l'activité du Grand Rhinolophe en fonction du taux de milieux ouverts (à gauche) et de l'altitude (à droite)

** en tenant compte des deux autres variables retenues dans le meilleur modèle*

c - Meilleur modèle et résultats – Probabilité de présence

Le meilleur modèle retenu pour expliquer la présence du Grand Rhinolophe retient cinq variables explicatives, la qualité du ciel, le taux de surface forestière, la distance à l'eau la plus proche, l'altitude et la durée d'enregistrement. La valeur d'AICc est de 339,3.

Les résultats de ce modèle sont les suivants :

Family: binomial

Link function: logit

Formula:

Rhifer_P.A ~ s(SF, k = 4) + s(QC, k = 4) + s(Duree, k = 4) +
s(Alti, k = 4) + s(D_eau, k = 4)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.4023	0.1384	-2.907	0.00365 **

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

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(SF)	1.000	1.000	5.555	0.01844 *
s(QC)	2.660	2.915	14.696	0.00115 **
s(Duree)	2.037	2.331	6.227	0.05449 .
s(Alti)	1.000	1.000	3.922	0.04766 *
s(D_eau)	2.165	2.555	4.836	0.10225

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

R-sq.(adj) = 0.117 Deviance explained = 12%

UBRE = 0.27226 scale est. = 1 n = 266

Les résultats du modèle et la figure 17 ci-dessous montrent un effet significatif de la qualité du ciel sur la probabilité de présence du Grand Rhinolophe laquelle diminue de façon plus marquée pour les valeurs basses de cette variable. Notons également une régression pour les valeurs les plus élevées. La courbe 18b est similaire pour la distance à l'eau la plus proche mais les résultats ne traduisent pas un effet significatif. Enfin, le taux de milieux forestiers et l'altitude présentent tous deux des effets significatifs avec une régression linéaire de la probabilité de présence lorsque la surface forestière est plus importante et quand l'altitude augmente.

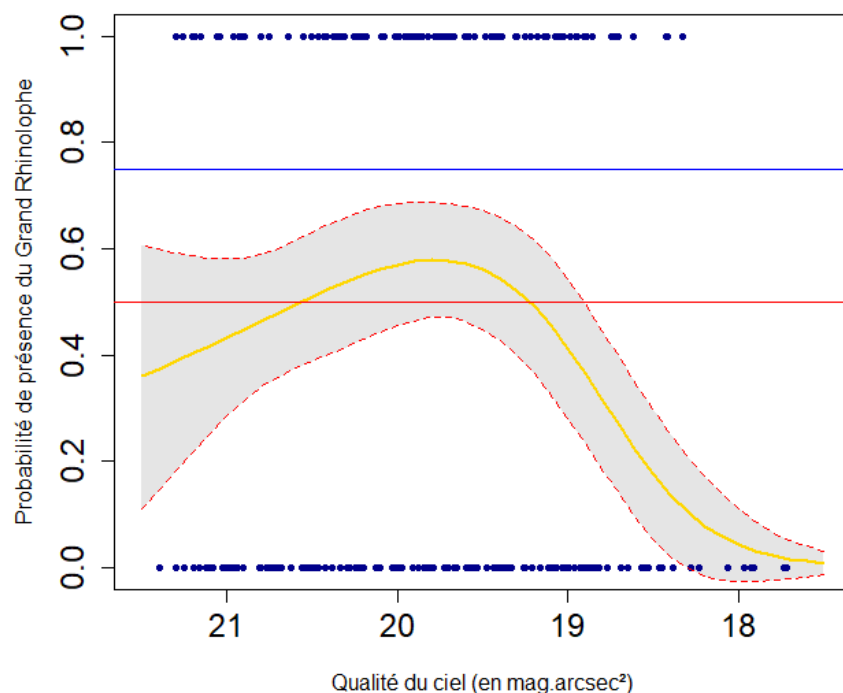


Figure 17 : Prédiction de la probabilité de présence du Grand Rhinolophe en fonction de la qualité du ciel

** en tenant compte des quatre autres variables retenues dans le meilleur modèle, taux de milieux forestiers, la distance à l'eau la plus proche, l'altitude et la durée*

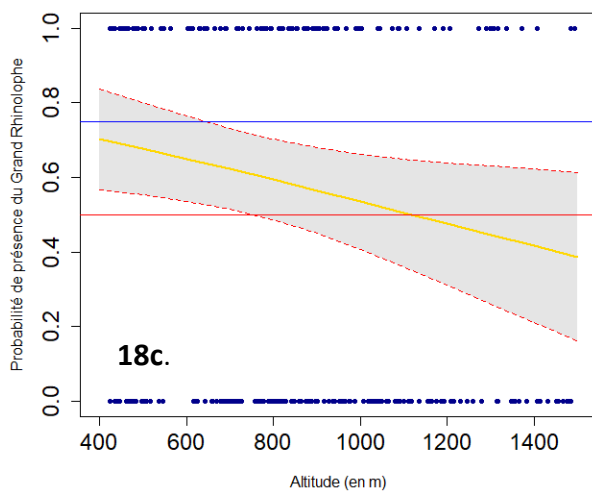
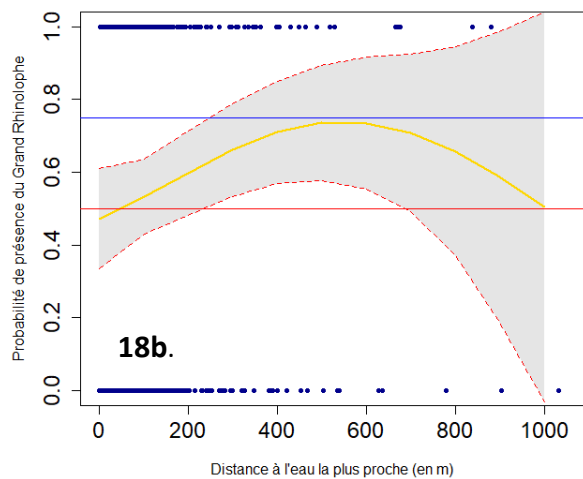
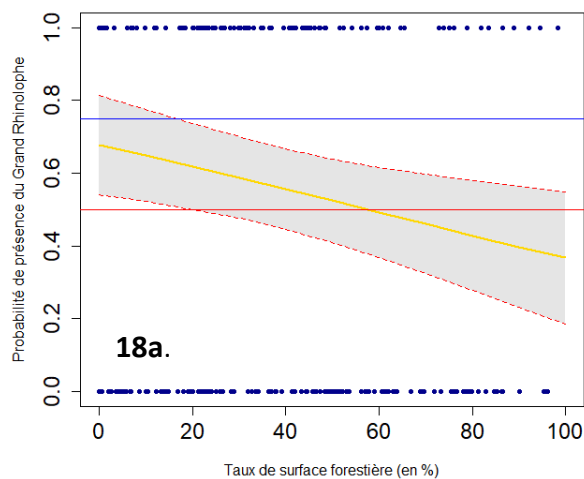


Figure 18 : Prédiction de la probabilité de présence du Grand Rhinolophe en fonction du taux de milieux forestiers (18a.), de la distance à l'eau la plus proche (18b.) et de l'altitude (18c.)

** en tenant compte des autres variables retenues dans le meilleur modèle*

3.4. MURIN INDETERMINE — *MYOTIS SP.*

3.4.1. DESCRIPTION DES RESULTATS

Les murins ont été détectés au moins une fois sur 193 points d'écoute pour une moyenne globale de 16 contacts et de 22 en ne considérant que ces points positifs. L'activité la plus importante, avec 1157 contacts, a été observée sur le point HS95 en 2019 du 21 au 23 mai. Ce point d'écoute était situé entre Argelès-Gazost et Lau Balagnas en bordure immédiate du Gave de Pau un peu en amont du pont de Tilhos. Parmi les 168 points retenus pour l'analyse, 15 présentent une activité supérieure à 50 contacts. A l'inverse aucun Murin n'est détecté sur 75 points. Les figures ci-dessous présentent l'ensemble des résultats obtenus pour ce groupe d'espèce.

Activité observée pour le genre Murin

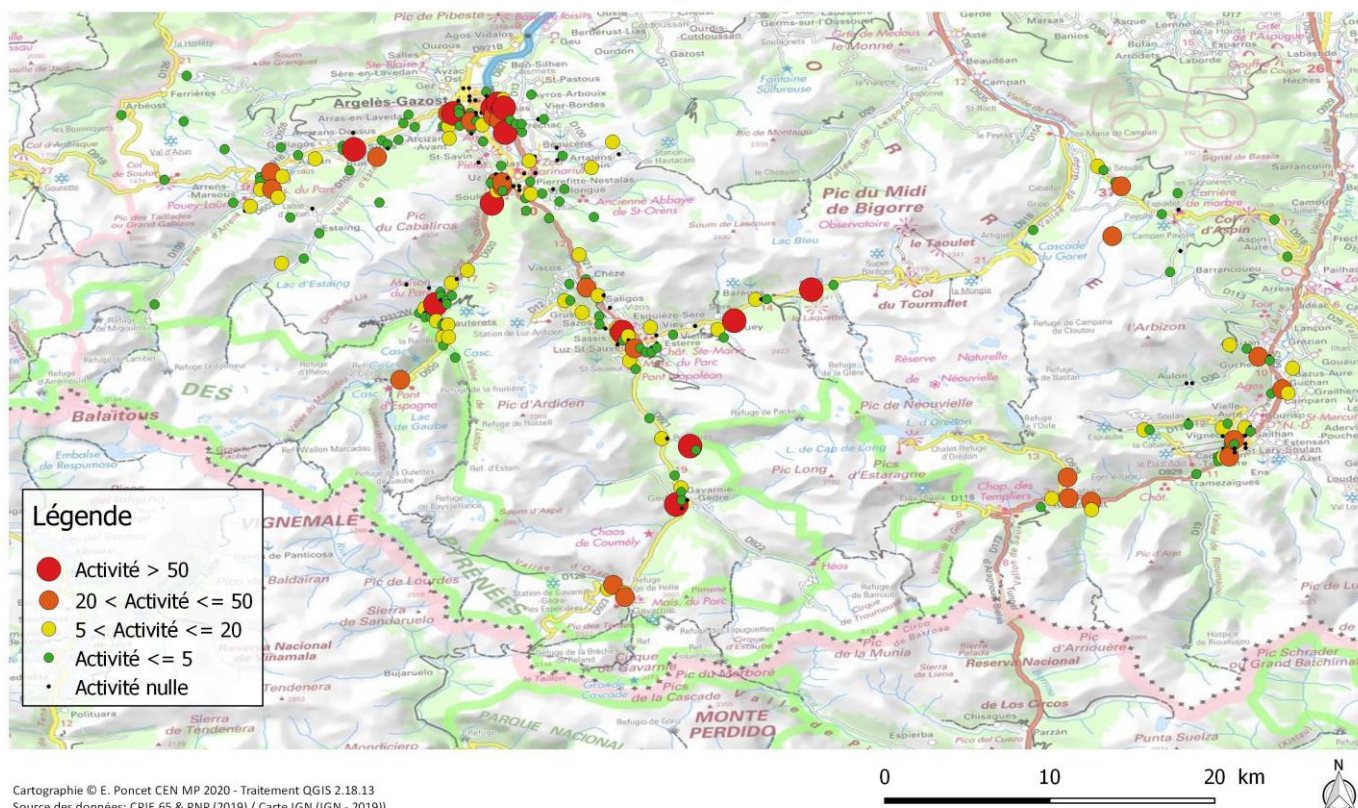


Figure 19 : Activité observée sur chaque point d'écoute pour le genre Murin

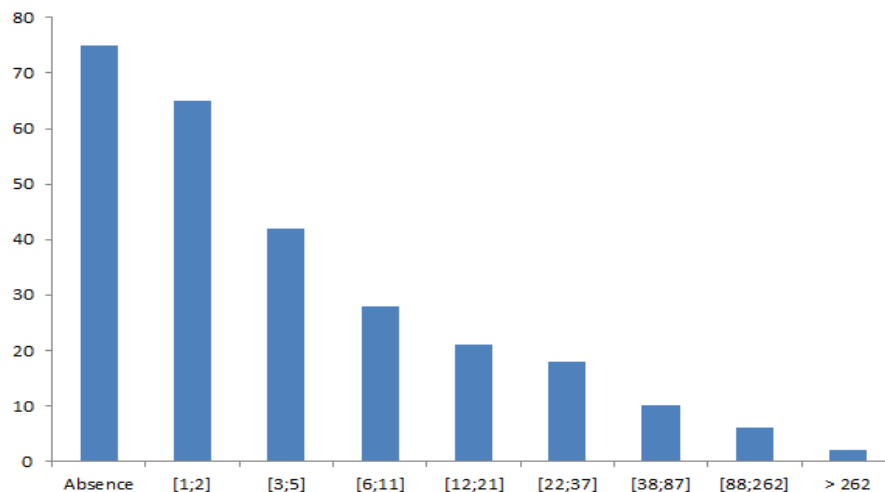


Figure 20 : Nombre de points en fonction de l'activité enregistrée
** classes définies selon la méthode des moyennes emboîtées*

Pour la suite des analyses, les valeurs extrêmes supérieures, qui correspondent à la classe d'activité la plus élevée seront retirées du jeu de données (en l'occurrence ici 2 points avec une activité supérieure à 262 contacts). La figure ci-dessous présente la réponse de l'activité des Murins en fonction de la qualité du ciel.

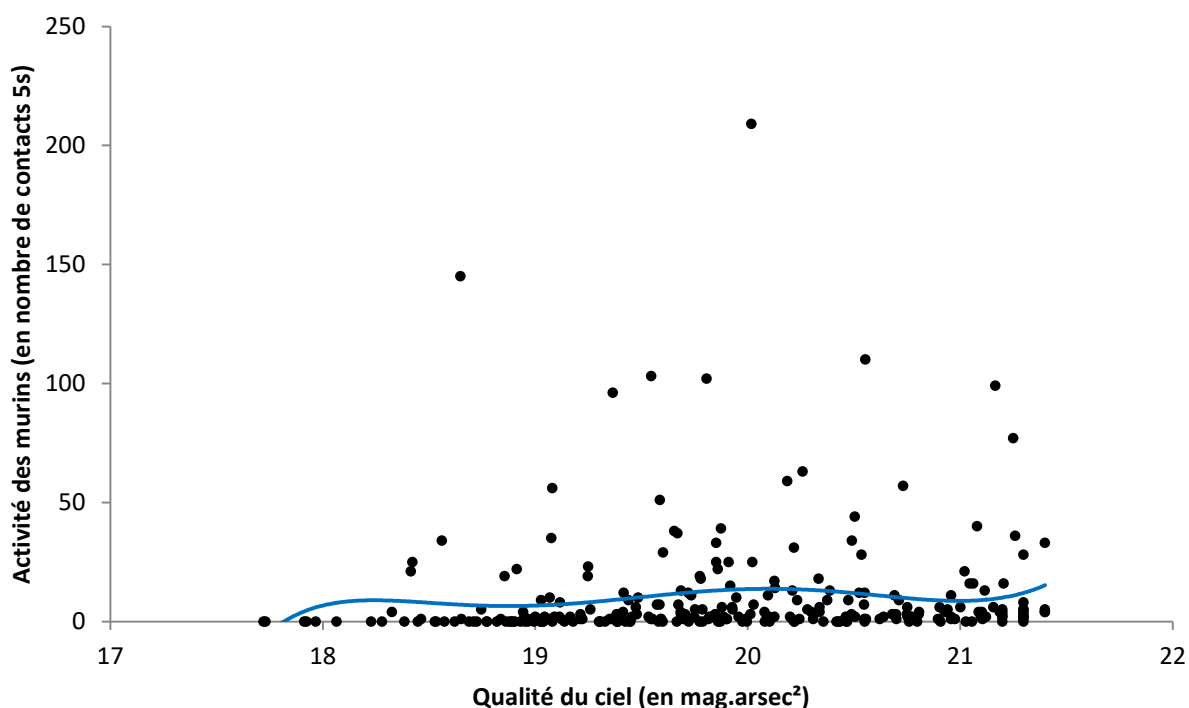


Figure 21 : Activité des Murins (en nombre de contacts 5s) en fonction de la qualité du ciel (en mag.arcsec²)
**avec courbe de tendance polynomiale d'ordre 6*

3.4.2. MODELISATION DES RESULTATS

a - Corrélation des variables

Pour la modélisation des résultats du Grand Rhinolophe, 8 variables explicatives ont été utilisées (QC, SF, SU, SO, D_Eau, Alti, Duree_min et Date). A l'exception de cette dernière, elles sont toutes quantitatives et leurs corrélations sont étudiées dans la figure ci-dessous.

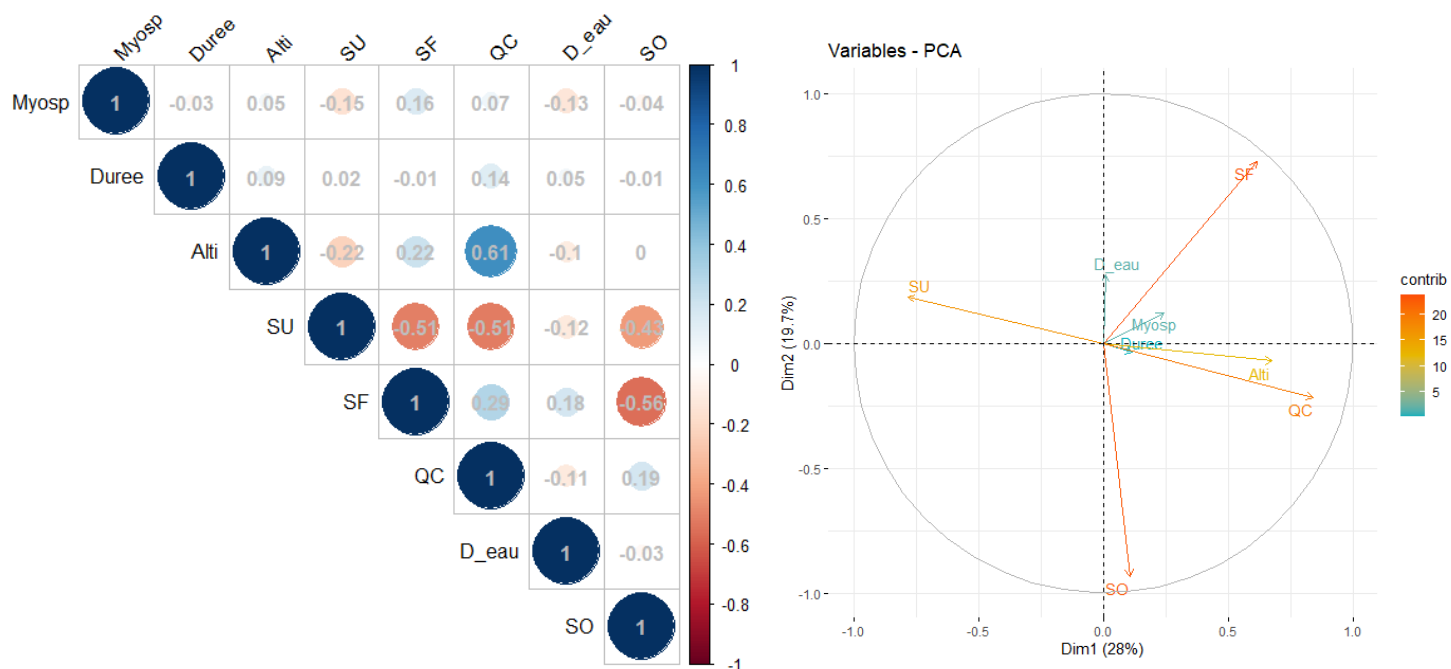


Figure 22 : Présentation des corrélations obtenues pour les variables utilisées dans l'étude des Murins. Matrice de corrélation à gauche avec coefficients significatifs à 0,05 s'il y a des ronds colorés et projection ACP à droite.

Plusieurs corrélations apparaissent entre les variables considérées. Néanmoins, les valeurs des coefficients ne sont jamais supérieures à 0,7 ou inférieures à -0,7. Aussi, nous conserverons toutes les variables dans l'analyse.

Ainsi, pour la modélisation de l'activité des Murins, nous utiliserons 7 variables explicatives (QC, SF, SU, SO, D_Eau, Alti et Duree_min) et 1 facteur fixe qu'est l'année d'écoute.

b - Meilleur modèle et résultats - Activité

Le meilleur modèle retenu pour expliquer l'activité observée des Murins retient quatre variables explicatives, le taux de milieux ouverts, le taux de milieux urbains, le taux de milieux forestiers et la distance à l'eau la plus proche. Pour pouvoir malgré tout étudier l'effet de la qualité du ciel, celle-ci a été ajoutée dans le modèle mais elle ne sera pas prise en compte pour modéliser l'effet des deux variables initialement retenues. La valeur d'AICc est de 2416,5.

Les résultats de ce modèle sont les suivants :

Family: gaussian
Link function: identity

Formula:
Myosp ~ s(SO, k = 4) + s(QC, k = 4) + s(D_eau, k = 4) + s(SF,
k = 4) + s(SU, k = 4)

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	10.256	1.376	7.454	1.35e-12 ***

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

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Ref.df	F	p-value
s(SO)	1	1	3.174	0.0760 .
s(QC)	1	1	0.342	0.5591
s(D_eau)	1	1	3.357	0.0680 .
s(SF)	1	1	2.435	0.1199
s(SU)	1	1	3.957	0.0477 *

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

R-sq.(adj) = 0.0573 Deviance explained = 7.51%
GCV = 515.2 Scale est. = 503.58 n = 266

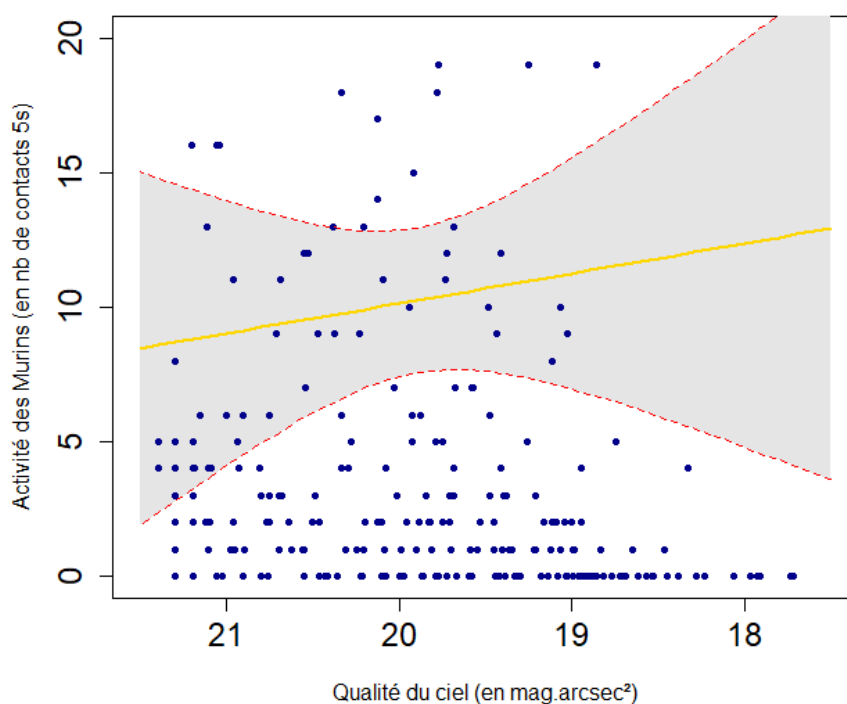


Figure 23 : Prédiction de l'activité des murins en fonction de la qualité du ciel

* en tenant compte des quatre variables retenues dans le meilleur modèle, taux de milieux ouverts, de milieux forestiers, de milieux urbains et distance à l'eau la plus proche

Ici, pour les murins, seul le taux de milieux urbains présente un effet significatif a priori négatif bien que la figure 24a ne soit pas évidente à lire. C'est aussi le cas pour les taux de surface ouverte (cf. 24b) et le taux de surface forestière (cf. 24c). En revanche, la courbe de la distance à l'eau montre un réel effet négatif de l'éloignement sur l'activité, lequel apparaît quasi-significatif dans les résultats du modèle.

La qualité du ciel n'a pas d'effet significatif sur l'activité des murins (cf. figure 23).

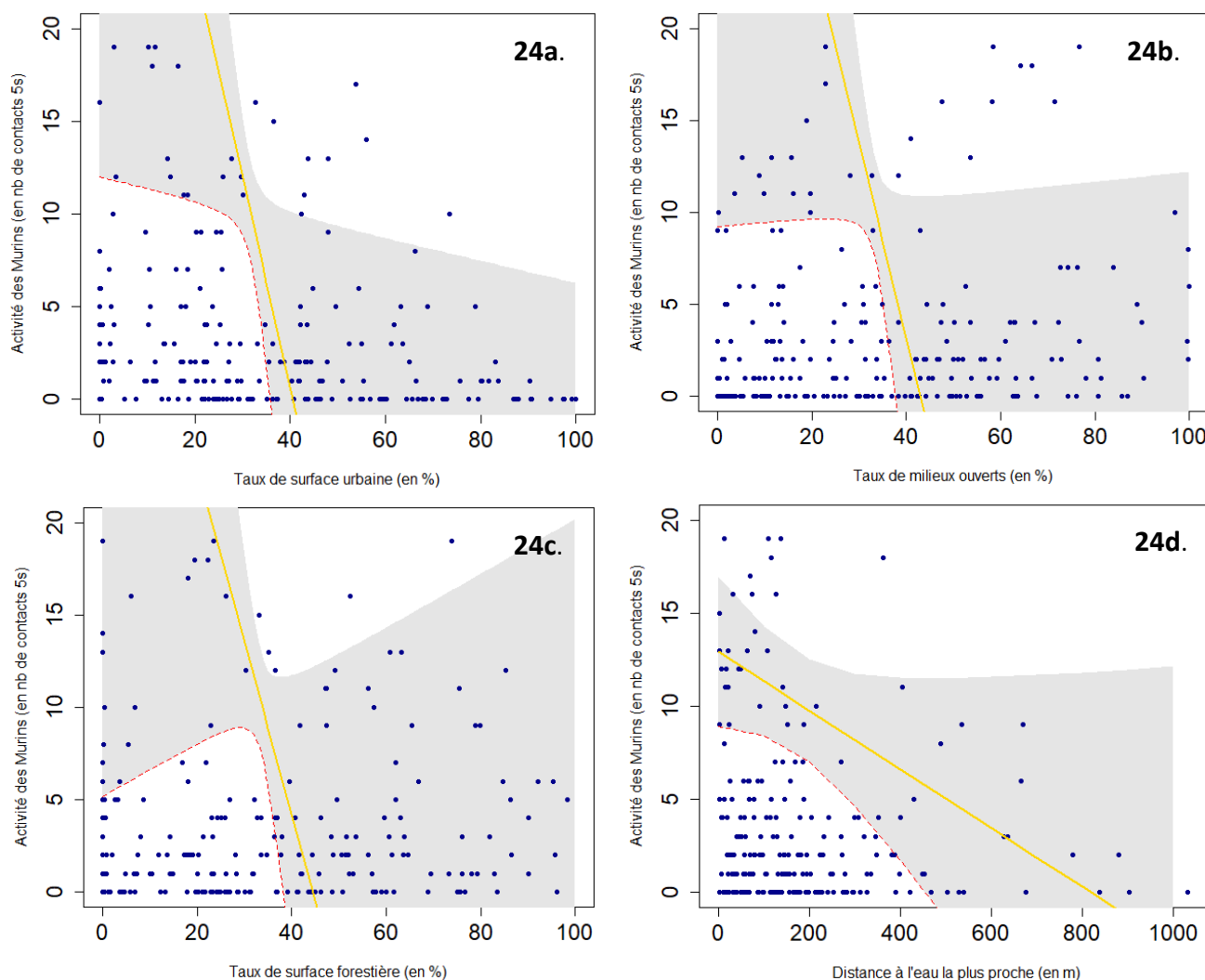


Figure 24 : Prédiction de l'activité des murins en fonction du taux de milieux urbains (24a.), du taux de milieux ouverts (24b.), du taux de milieux forestiers (24c.) et de la distance à l'eau la plus proche (24d.)
** en tenant compte des deux autres variables retenues dans le meilleur modèle*

c - Meilleur modèle et résultats – Probabilité de présence

Le meilleur modèle retenu pour expliquer la présence des Murins retient quatre variables explicatives, la qualité du ciel, le taux de surface urbaine, la distance à l'eau la plus proche et la durée d'enregistrement. La valeur d'AICc est de 262,8.

Les résultats de ce modèle sont les suivants :

Family: binomial
 Link function: logit

Formula:
 $\text{Myosp_P.A} \sim \text{s}(\text{SU}, k = 4) + \text{s}(\text{QC}, k = 4) + \text{s}(\text{Duree}, k = 4) + \text{s}(\text{D_eau}, k = 4)$

Parametric coefficients:
 Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)

```
(Intercept) 1.2466 0.1902 6.554 5.6e-11 ***
```

```
---
```

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

```
Approximate significance of smooth terms:
```

```
      edf Ref.df Chi.sq p-value
s(SU)  1.000  1.000  6.509 0.01073 *
s(QC)  1.637  2.003 13.223 0.00134 **
s(Duree) 2.136  2.535  4.940 0.14692
s(D_eau) 2.880  2.988 12.045 0.00936 **
```

```
---
```

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

```
R-sq.(adj) = 0.24 Deviance explained = 22.6%
```

```
UBRE = -0.014446 Scale est. = 1 n = 266
```

Les résultats du modèle et la figure 25 ci-dessous montrent un effet positif significatif de la qualité du ciel sur la probabilité de présence des murins. Cette relation paraît linéaire avec une diminution constante de la probabilité lorsque la qualité du ciel se détériore. C'est aussi le cas lorsque la surface urbaine augmente ou lorsque le point s'éloigne de l'eau bien que dans ce dernier cas la relation soit moins linéaire hormis à partir d'un certain point.

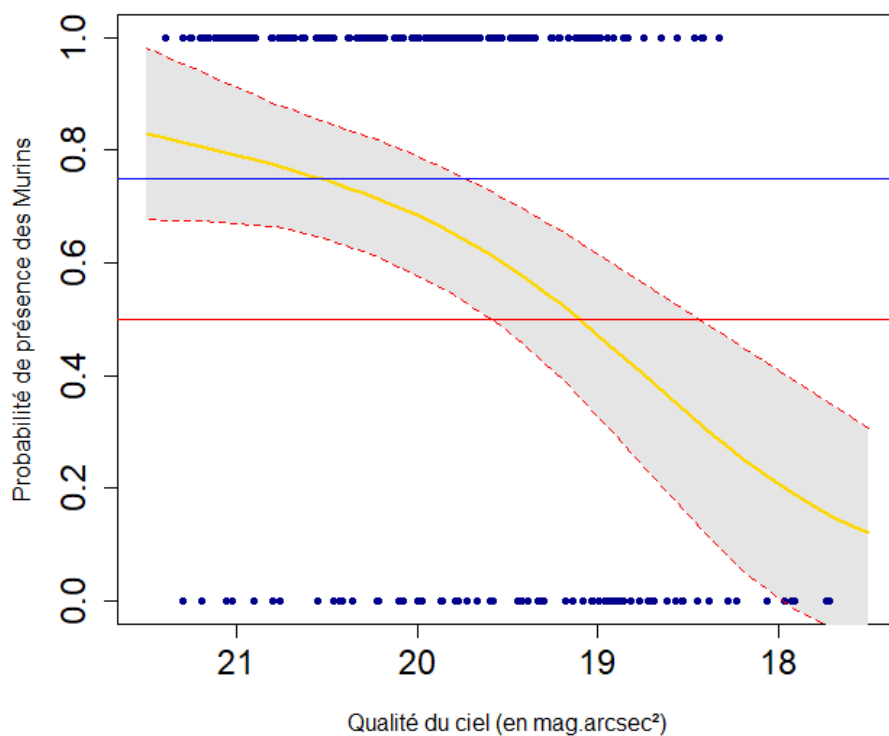


Figure 25 : Prédiction de la probabilité de présence des murins en fonction de la qualité du ciel

** en tenant compte des quatre autres variables retenues dans le meilleur modèle, taux de milieux urbains, la distance à l'eau la plus proche et la durée d'enregistrement*

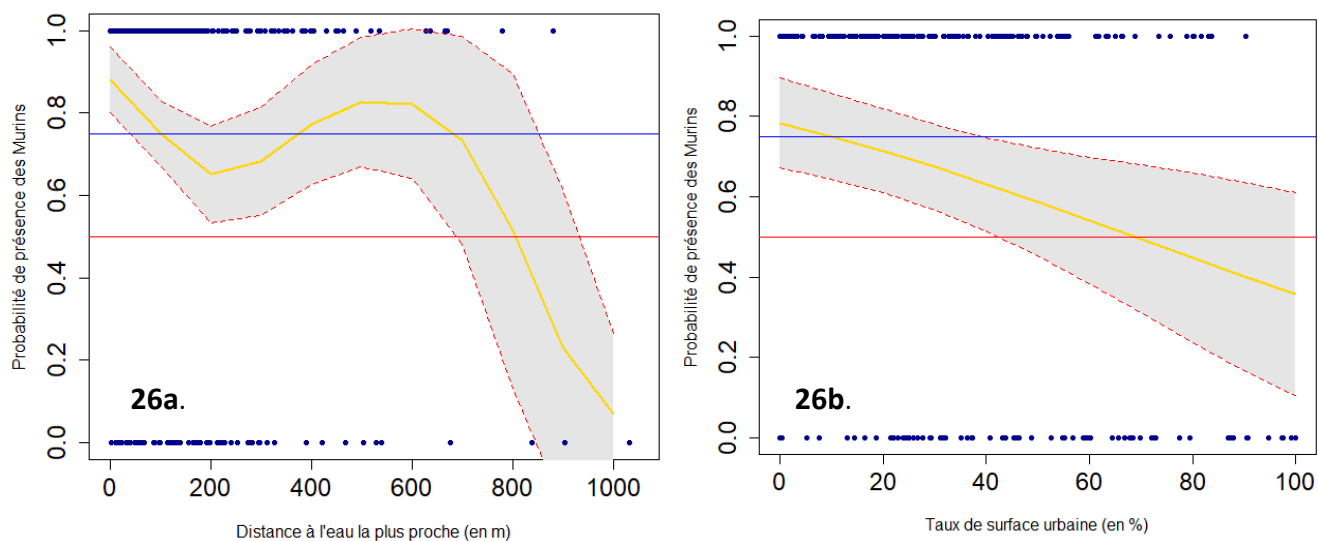


Figure 26 : Prédiction de la probabilité de présence des murins en fonction de la distance à l'eau la plus proche (26a.) et du taux de milieux urbains (26b.)

** en tenant compte des autres variables retenues dans le meilleur modèle*

4. DISCUSSION DES RESULTATS

4.1. ESTIMATION DE L'ACTIVITE

Les seuils de confiance sélectionnés pour estimer l'activité à partir des fichiers Tadarida ont été calculés de façon à ce que le risque d'erreur soit inférieur à 5%. Si ce seuil est unique pour les deux Rhinolophes, plutôt bas pour le Petit Rhinolophe (0,22), moyen pour le Grand Rhinolophe (0,58), il est variable pour le genre Murin en raison du nombre d'espèces identifiées par le logiciel. Nous distinguons trois catégories :

- les séquences identifiées par Tadarida en Murin de Bechstein ou en Murin de Capaccini n'ont pas été conservées pour l'analyse. En effet, trop peu de séquences ont pu être vérifiées manuellement et il n'a par conséquent pas été possible de déterminer un seuil de confiance cohérent. Les taux d'erreur pour les quelques séquences vérifiées étaient supérieurs à 50% ;
- les valeurs seuils pour le Murin à oreilles échancrées et le complexe Murin de Natterer sont très élevées, respectivement 0,95 et 0,97. Cela s'explique par le comportement acoustique de ces espèces qui émettent des signaux très verticaux avec une largeur de bande de fréquence importante. De fait, dans les 118 fichiers analysés manuellement, ils sont souvent confondus par le logiciel avec des signaux parasites résultant notamment d'une saturation sur des signaux d'autres espèces. Aussi, parmi les espèces retenues pour l'analyse des murins, ces deux espèces présentent les plus forts taux d'erreur de la part du logiciel. Par conséquent, peu de séquences identifiées comme l'une de ces deux espèces par Tadarida sont conservées dans l'analyse ;
- les autres espèces de murins présentent des valeurs seuils plus faibles, variant de 0,42 pour le Murin de Daubenton à 0,01 pour le Murin d'Alcathoé. Cette catégorie inclut également le Murin à moustaches (0,16) et le Grand/Petit Murin (0,10). L'identification du genre par Tadarida est plus fiable pour ces espèces-là.

Les quatre espèces de Murins présentant les plus fortes occurrences dans les fichiers Tadarida sont le Murin à oreilles échancrées, le Murin de Natterer, le Murin de Daubenton et le Murin à moustaches. Compte tenu du seuil de confiance retenu pour chacune d'entre elles, le Murin à moustaches représente la majorité des séquences de murins retenues dans l'analyse (cf. tableau 4).

Tableau 5 : Nombre de séquences conservées pour l'analyse en fonction de l'identification Tadarida et du seuil de confiance retenu – Année 2019

<i>Espèce (id Tadarida)</i>	<i>Seuil de confiance</i>	<i>Nombre de séquences retenues</i>
Murin d'Alcathoé	0,01	90
Murin de Bechstein	NA	0
Murin de Capaccini	NA	0
Murin de Daubenton	0,42	27
Murin à oreilles échancrées	0,95	22
Grand / Petit Murin	0,10	81
Murin à moustaches	0,16	948
Murin de Natterer	0,97	111

Pour rappel, les seuils de confiance ont été calculés pour une identification au genre et non à l'espèce. Si tel était le cas, il est fort probable que les seuils seraient radicalement différents. Le nombre de séquences Murin à moustaches paraît par exemple disproportionné par rapport aux autres espèces alors que l'activité de Murin de Daubenton semble sous-estimée d'autant que le risque d'erreur entre ces deux espèces est assez élevé. L'analyse du point présentant la plus grande activité de murin (en 2019 sur HS95) va dans ce sens car il était placé en bordure du Gave de Pau soit

dans un habitat tout à fait favorable au Murin de Daubenton. Or, dans le fichier Tadarida seulement 270 séquences sont identifiées en Murin de Daubenton pour 1052 séquences en Murin à moustaches ce qui ne semble pas cohérent.

4.2. EFFET DE LA QUALITE DU CIEL

4.2.1. SUR L'ACTIVITE

La variable qualité du ciel n'est pas retenue dans les meilleures modèles expliquant l'activité du Petit Rhinolophe et des Murins. Elle a toutefois été ajoutée pour visualiser son effet en tenant compte des autres variables environnementales retenues. Dans les deux cas, elle n'apparaît pas significative ce qui est confirmé par les graphes 7 et 23 sur lesquels la prédiction de l'activité de ces deux taxons est plutôt stable.

Le cas est différent pour le Grand Rhinolophe où là, la qualité du ciel est retenue avec deux autres variables environnementales dans le meilleur modèle bien qu'elle n'apparaisse pas significative. Son effet sur l'activité de l'espèce n'est pas linéaire et les prévisions estiment un pic d'activité pour des valeurs comprises entre 20,8 et 19,6 mag.arcsec² avec un début de régression à partir de 20,1 mag.arcsec² (cf. figure 27).

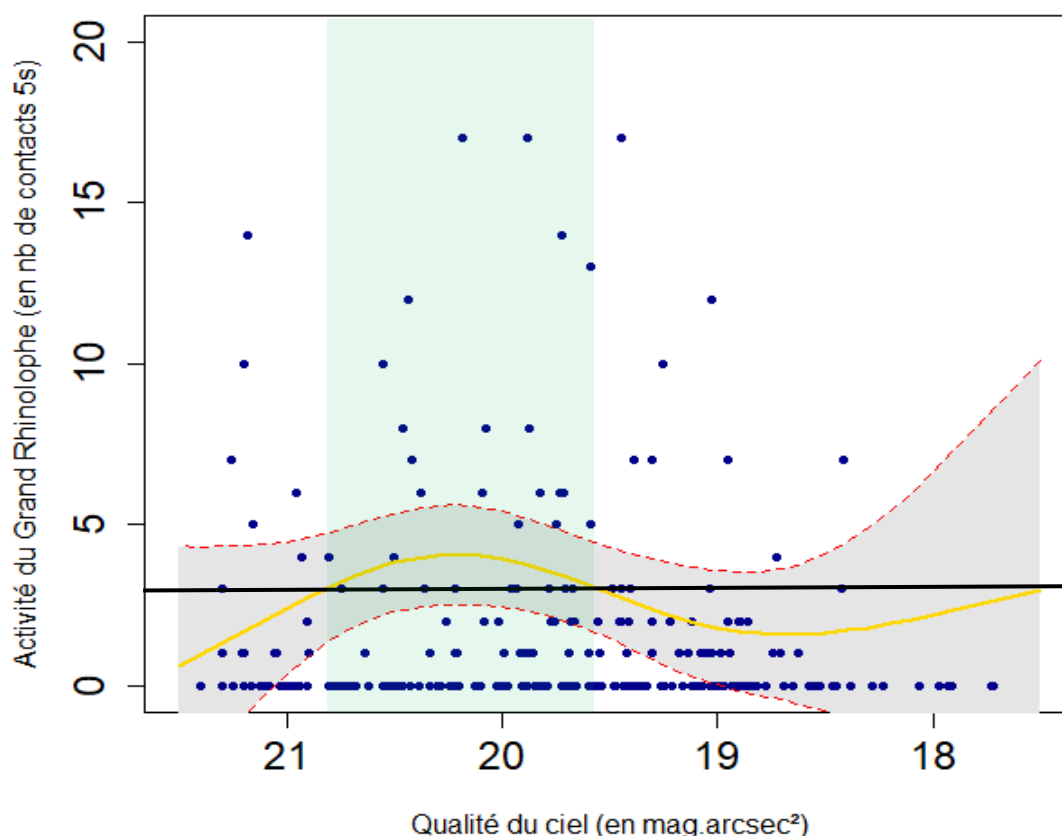


Figure 27 : Effet de la qualité du ciel sur l'activité du Grand Rhinolophe avec mise en évidence d'un pic d'activité.

En deçà de ce chiffre, l'activité diminue avant de légèrement augmenter de nouveau pour des valeurs inférieures à 18,5 mag.arcsec². Cette hausse de l'activité aux niveaux de qualité de ciel les plus

faibles observés peut s'expliquer par le comportement anthropophile du Grand Rhinolophe qui gîte essentiellement dans du patrimoine bâti en période estivale. Or, la présence de bâtiments est exprimée dans cette étude par le taux de milieux urbains lequel est assez corrélé et de façon négative avec la qualité du ciel (coefficient de corrélation = -0,56). A l'inverse, le principal pic d'activité observé pourrait traduire le caractère lucifuge de l'espèce. Notons toutefois une diminution de l'activité pour des valeurs de qualité du ciel supérieures à 21 mag.arcsec². Pour ces valeurs extrêmes, et c'est aussi le cas pour les valeurs basses, un nombre de données plus petit pourrait expliquer les tendances observées.

Aussi, la figure 27 pourrait s'expliquer par (1) une préférence de l'espèce pour les points proposant une bonne qualité du ciel et (2) une diminution régulière de l'activité en fonction de l'augmentation de l'éclairage avec ponctuellement des activités plus fortes sur des points plus éclairés qui pourraient être dues à la proximité de gîte anthropiques en milieu urbain.

4.2.2. SUR LA PROBABILITE DE PRESENCE

Comme pour l'activité, la qualité du ciel ne semble avoir aucun effet sur la probabilité de présence du Petit Rhinolophe, laquelle demeure stable et supérieure à 0,75 pour toute la gamme étudiée de cette variable (cf. figure 9). Elle n'est inférieure à ce seuil que pour les valeurs les plus faibles de qualité du ciel, soit lorsqu'elles sont inférieures à 17,9 mag.arcsec². De fait, cette variable n'apparaît pas dans le meilleur modèle expliquant la présence du Petit Rhinolophe. En revanche elle apparaît bien dans les modèles pour le Grand Rhinolophe et les Murins avec un effet significatif.

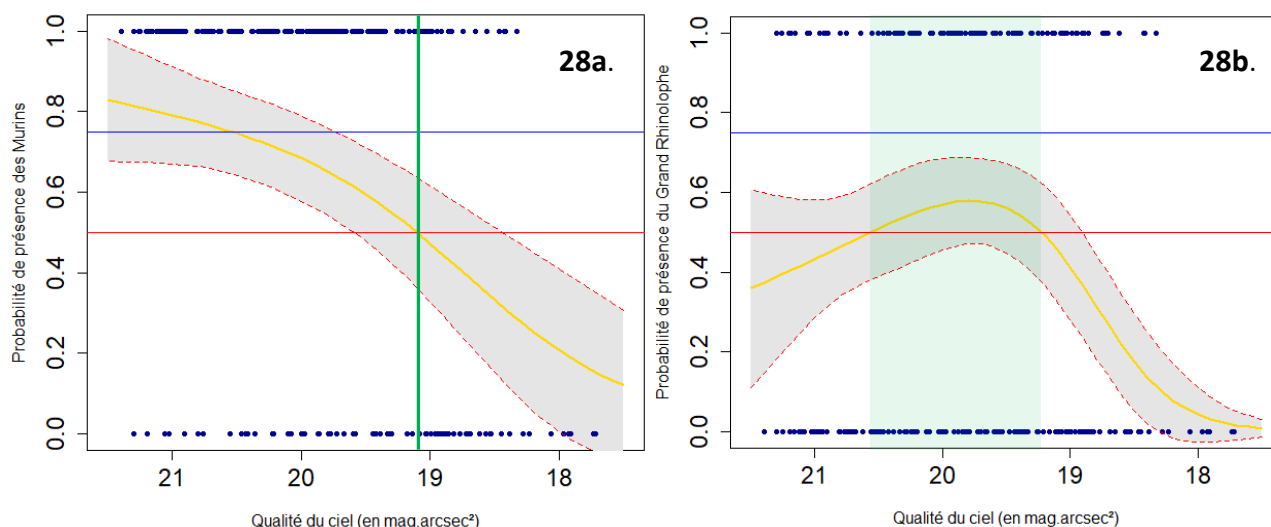


Figure 28 : Effet de la qualité du ciel sur la probabilité de présence des murins (28a.) et du Grand Rhinolophe (28b.) et mise en évidence des valeurs seuils

Cet effet est linéaire pour les Murins avec une régression constante de la probabilité de présence lorsque la qualité du ciel se détériore (cf. figure 28a). Cette probabilité est inférieure à 0,75 puis à 0,5 pour des valeurs de qualité du ciel inférieures à respectivement 20,6 et 19,1 mag.arcsec².

C'est globalement la même situation pour le Grand Rhinolophe mais nous observons un plateau puis une légère régression pour les valeurs de qualité du ciel les plus élevées. Sur ce point précis, nous pouvons faire un parallèle avec la prédiction de l'activité qui présente une courbe similaire sur cette

gamme de valeur. La probabilité de présence de cette espèce n'excède jamais le seuil de 0,75. En revanche, elle est supérieure à 0,5 pour des valeurs de qualité du ciel comprise entre 20,5 et 19,25 mag.arcsec² (cf. figure 28b.). Ce pic coïncide là aussi avec la modélisation de l'activité.

4.3. EFFETS DES AUTRES VARIABLES ENVIRONNEMENTALES

4.3.1. PETIT RHINOLOPHE — *RHINOLOPHUS HIPPOSIDEROS* (BECHSTEIN, 1800)

Deux variables ont été retenues dans le meilleur modèle pour expliquer au mieux l'activité du Petit Rhinolophe : le taux de surface forestière et la distance à l'eau la plus proche.

L'espèce réagit positivement à l'augmentation de la surface forestière, ce qui semble cohérent avec sa biologie. En effet, le Petit Rhinolophe est connu pour chasser préférentiellement dans des milieux boisés comme des forêts ou des ripisylves mais aussi dans des espaces plus mosaïqués comme le bocage, la présence d'arbres étant indispensable car il consomme des proies comme des petits lépidoptères ou des diptères qui vivent à proximité du feuillage. Ce Rhinolophe apprécie également la présence d'eau et de zones humides (Conservatoire régional des espaces naturels de Midi-Pyrénées (France) *et al.* 2011). Ce constat explique le second résultat obtenu dans cette étude, un effet négatif sur l'activité enregistrée de l'espèce lorsque la distance à l'eau la plus proche grandit.

Nous retrouvons la variable surface forestière dans la modélisation de la présence avec un effet là aussi significatif. Néanmoins, ce résultat est difficile à interpréter car la figure 8a montre une relation globalement stable avec une probabilité de présence variant autour de 0,75. Cela s'explique par la large répartition du Petit Rhinolophe dans le jeu de données (présence de l'espèce sur 190 points parmi les 268 étudiés), présent dans toutes les catégories de surface forestière. Le constat est similaire pour la seconde variable retenue dans le meilleur modèle prédictif de la probabilité de présence, l'altitude. Notons toutefois dans ce cas une relation plus linéaire avec la probabilité qui tend à décroître de façon régulière sur les points les plus hauts, à partir de 1000 mètres. Au-delà de 1300, la probabilité de présence passe en dessous de 0,75.

4.3.2. GRAND RHINOLOPHE — *RHINOLOPHUS FERRUMEQUINUM* (SCHREBER, 1774)

Deux variables ont été retenues dans le meilleur modèle pour expliquer au mieux l'activité du Grand Rhinolophe : le taux de milieux ouverts et l'altitude. Elles présentent toutes deux un effet significatif, respectivement positif et négatif selon des relations linéaires (cf. figures X). Tout comme le Petit Rhinolophe, ces résultats sont cohérents avec la biologie et l'état des connaissances de l'espèce en Midi-Pyrénées.

L'effet positif de l'augmentation du taux de milieux ouverts sur l'activité peut s'expliquer par la préférence de l'espèce à chasser dans des espaces à végétation basse, notamment des prairies ou des pâturages extensifs. Là, elle chasse des lépidoptères ou des gros coléoptères qu'elle détecte à l'affut depuis des haies ou des linéaires arborés proches. A l'inverse, l'altitude a un effet négatif avec une activité moins forte sur les points les élevés. Cette observation correspond à la répartition de

l'espèce dans la région où elle est davantage contactée sur les zones de moyennes altitudes du piémont pyrénéen ou du Massif Central.

Tous ces éléments sont soulignés dans la modélisation de la probabilité de présence. Si le taux de milieux ouverts ne ressort pas dans le meilleur modèle, c'est le cas du taux de milieux forestiers qui a un effet négatif significatif sur la présence de l'espèce avec une régression linéaire de la probabilité de présence lorsque le milieu se ferme (cf. figure 18a.). Ce résultat est cohérent avec l'explication précédente. De même, nous retrouvons un effet négatif significatif de l'altitude avec là aussi une probabilité de présence moins forte sur les points les plus hauts (cf. figure 18c.). De plus, une autre variable environnementale intervient dans cette modélisation mais elle n'apparaît pas significative, c'est la distance à l'eau la plus proche (cf. figure 18b.).

4.3.3. MURIN INDETERMINE — *MYOTIS SP*

Pour expliquer l'activité des murins, le meilleur modèle retient quatre variables explicatives significatives ou quasi-significatives, la surface urbanisée, la distance à l'eau et le taux de milieux ouverts. Le taux de milieux forestiers est également retenu.

Ces quatre variables ont toutes des effets négatifs bien que ces résultats soient difficiles à interpréter dans la mesure où le genre Murin inclut potentiellement de nombreuses espèces présentant chacune des préférences écologiques et des comportements différents. La variable la plus simple à analyser est la distance à l'eau la plus proche (cf. figure 24d.). La régression de l'activité lorsque le point s'éloigne d'un point de l'eau s'explique probablement par la présence d'espèces inféodées aux milieux aquatiques et aux habitats attenants comme les ripisylves. C'est typiquement le cas du Murin de Daubenton qui chasse au-dessus des eaux calmes ou du Murin d'Alcathoé qui marque une préférence pour les boisements proches de l'eau. Si ce ne sont pas les espèces les plus présentes selon l'identification de Tadarida (cf. tableau 6), ce sont aussi celles qu'il est le plus facile de confondre avec le Murin à moustaches qui est l'espèce largement dominante. Aussi, comme évoqué précédemment, l'activité de ces deux espèces de murins sont très probablement sous-estimées par le logiciel et c'est ce qui expliquerait la relation observée avec la distance à l'eau.

L'effet des trois autres variables sur l'activité est très similaire et les résultats ne sont de fait pas très cohérents les uns par rapport aux autres (cf. figures 24a b et c.). Cela traduit peut-être un défaut de la modélisation ou le problème évoqué précédemment par rapport aux préférences écologiques variables selon les différentes espèces de murins. Aussi, nous n'irons pas plus loin dans leur analyse.

Pour ce qui est de la probabilité de présence, nous retrouvons un effet négatif significatif de la distance à l'eau la plus proche ce qui va dans le sens du commentaire précédent. Une seule autre variable est retenue dans le meilleur modèle, c'est le taux de surface urbaine qui présente un effet similaire. La relation de cette variable est linéaire avec la probabilité de présence des murins, laquelle décroît lorsque l'urbanisation augmente (cf. figure 26b.). Elle est en deçà de 0,75 puis de 0,5 pour des valeurs d'urbanisation respectivement de 15 et 70%

5. CONCLUSION

Cette étude menée entre 2018 et 2019 par le PNP et le CPIE65 a permis d'exploiter les données acoustiques de 268 points d'écoute avec l'objectif principal de déterminer un seuil de qualité du ciel en-deçà duquel l'activité des chiroptères lucifuges diminue. Deux espèces ont été étudiées, le Petit Rhinolophe et le Grand Rhinolophe ainsi que le genre Murin. Ce seuil doit permettre au PNP d'avoir un élément factuel et mesuré localement pour pouvoir agir concrètement sur la trame sombre de son territoire, notamment en apportant des recommandations aux communes concernées en matière d'éclairage.

Au vu des résultats, c'est le Grand Rhinolophe qui réagit le plus à la qualité du ciel, laquelle a un effet sur les deux indicateurs mesurés, l'activité et la probabilité de présence. Pour cette espèce, les prédictions montrent un pic d'activité qui s'estompe à 19,6 mag.arsec² pour la valeur basse tandis que la probabilité de présence est en deçà de 0,5 pour une qualité du ciel inférieure à 19,3 mag.arsec². A l'inverse, le Petit Rhinolophe ne semble pas du tout réagir à cette variable avec une activité et une probabilité de présence globalement stable sur toute la gamme de lumière étudiée. Enfin, pour les murins, seule la probabilité de présence est impactée par la qualité de ciel. Tout comme le Grand Rhinolophe, elle est en deçà de 0,5 quand la qualité du ciel est inférieure à 19,1 mag.arsec². Tous ces résultats et valeurs permettent d'apporter un élément de réponse au PNP et de proposer un seuil compris entre 19,6 et 19,1 mag.arsec². Toutefois, un travail de bibliographie avancé pourrait permettre de comparer ce résultat à d'autres études afin de mieux le préciser.

Outre la qualité du ciel, d'autres variables environnementales locales ont été utilisées pour modéliser au mieux l'activité enregistrée sur les points et la probabilité de présence des taxons étudiés. A l'échelle prise en compte dans cette étude, ce sont essentiellement ces variables (surface forestière, distance à l'eau...) qui expliquent les données et cela de façon cohérente avec la biologie et le comportement des espèces. C'est notamment le cas pour l'indicateur d'activité. Par conséquent, il conviendra de prendre en compte ces résultats dans l'élaboration d'une trame sombre en préservant prioritairement les espaces boisés, les prairies ou encore les abords de cours d'eau de façon à garantir aux espèces des terrains de chasse de bonne qualité, notamment dans les fonds de vallée.

6. BIBLIOGRAPHIE

BARATAUD M. 2004. — Fréquentation des paysages sud-alpins par des chiroptères en activité de chasse. *Le Rhinolophe* 17, 11–22.

BARATAUD M. & TUPINIER Y. 2012. — *Écologie acoustique des chiroptères d'Europe identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse*. Mèze; Paris, Biotopie éd. ; Publications scientifiques du Muséum, 344p.

CONSERVATOIRE REGIONAL DES ESPACES NATURELS DE MIDI-PYRENEES (FRANCE), BODIN, J. & GROUPE CHIROPTERES DE MIDI-PYRENEES (EDS.) 2011. — *Les chauves-souris de Midi-Pyrénées répartition, écologie, conservation*. Toulouse, Conservatoire régional des espaces naturels de Midi-Pyrénées.

FREY-EHRENBOLD A., BONTADINA F., ARLETTAZ R. & OBRIST M.K. 2013. — Landscape connectivity, habitat structure and activity of bat guilds in farmland-dominated matrices, in POCOCK M. (ed.). *Journal of Applied Ecology* 50 (1), 252–261.

MICKLEBURGH S.P., HUTSON A.M. & RACEY P.A. 2002. — A review of the global conservation status of bats. *Oryx* 36 (1), 18–34.

PACKAGES R

BARTON K. 2020. MuMIn: Multi-Model Influence

KASSAMBARA A. & MUNDT F. 2020. factoextra: extract and visualize the results of multivariate data analyses.

WEI T. & SIMKO V. 2017. — *R package 'corrplot' : visualization of a correlation matrix (Version 0.84)*

WOOD S.N. 2011. — Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 73 (1): 3–36