
Répartition des chiroptères forestiers en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Auteur : Beauclaire, Antoine

Promoteur(s) : Lejeune, Philippe

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master en bioingénieur : gestion des forêts et des espaces naturels, à finalité spécialisée

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/21205>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

RÉPARTITION DES CHIROPÈRES FORESTIERS EN RÉGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR ; MODÉLISATION ET TÉLÉMÉTRIE DIURNE

ANTOINE BEAUCLAIRE

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS.**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023-2024

PROMOTEUR : PHILIPPE LEJEUNE

©Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

Le présent document ne peut être diffusé qu'avec l'autorisation écrite préalable de l'association du Groupe Chiroptères de Provence.

RÉPARTITION DES CHIROPTÈRES FORESTIERS EN RÉGION PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR ; MODÉLISATION ET TÉLÉMÉTRIE DIURNE

ANTOINE BEAUCLAIRE

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER BIOINGÉNIEUR EN GESTION DES FORÊTS ET DES ESPACES NATURELS.**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023-2024

PROMOTEUR : PHILIPPE LEJEUNE

REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude aux bénévoles et aux chargés d'études du Groupe Chiroptères de Provence pour leur soutien à la réalisation des études télémétriques de Gémenos et L'Epine. De retour de terrain parfois éprouvant, je m'efforçais de nous préparer des plats des plus succulents. En contrepartie, la convivialité de ces terrains était inégalable et me permettait de savourer, en plus des plats, de délicieuses anecdotes naturalistes.

Je tiens également remercier Aurélien Siraud pour sa présence et ses conseils durant une partie de mon engagement avec le GCP, ainsi que pour les semaines passées ensemble à réaliser les suivis télémétriques de mes missions en région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

Je remercie également mon compagnon, Bruno Di Carlo. Son engagement à mes côtés et sa présence réconfortante ont été des sources de force inestimables pour moi. Je le remercie d'avoir voyagé avec moi depuis la Belgique pour travailler à mes côtés, de nous avoir permis de nous épanouir dans cette belle région, et de m'avoir fait découvrir des dimensions insoupçonnées de la musique, du jazz et de la comédie musicale. Et plus particulièrement pour certaines soirées dédiées à mon travail de fin d'études à coller des morceaux de cartes A4 ensemble, à relire mon document et à m'épauler/supporter durant certains moments éprouvants et durant de longues heures.

Touchant bientôt à la fin de mes études supérieures, j'ai une pensée tendre envers ma mère qui a toujours eu confiance en moi et en mes choix. Je la remercie de ne jamais avoir douté de ma réussite.

SOUTIEN FINANCIER

Ce travail a notamment pu être réalisé grâce au soutien financier du Conseil Départemental des Bouches-du-Rhône dans le cadre du projet de suivi télémétrique dans la commune de Gémenos. Je tiens à exprimer ma gratitude pour leur contribution.



Je tiens également à exprimer ma gratitude envers le programme Erasmus+ pour le soutien financier qui a permis la réalisation de mon séjour en France dans le cadre de mes études.



ORGANISME D'ACCUEIL

Le Groupe Chiroptères de Provence m'a permis de réaliser mon travail de fin d'études dans le cadre de leurs études télémétriques. Ce fut un travail riche en apprentissage et de rencontres.



Résumé

En France, trente-six espèces de chauves-souris sont actuellement recensées et protégées. Ce travail vise à améliorer la compréhension de la répartition des chiroptères forestiers dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. La recherche poursuit deux objectifs principaux : modéliser la répartition des chiroptères avec MaxEnt à l'échelle régionale, et réaliser une étude télémétrique sur le Murin de Bechstein (*Myotis bechsteini*), dans le parc de Saint-Pons dans les Bouches-du-Rhône. Des modèles de répartition ont été développés pour les espèces suivantes : le Murin de Bechstein (*Myotis bechsteini*), la Barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*), le Murin de Natterer (*Myotis nattereri*), le Murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*), la Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*), l'Oreillard roux (*Plecotus auritus*), et l'Oreillard montagnard (*Plecotus macrobullaris*). Ces modèles, basés sur des données d'occurrence fournies par le Groupe Chiroptères de Provence, montrent une bonne discrimination entre présence et absence des espèces, bien que des signes de surapprentissage aient été observés. Les résultats incluent des cartes de probabilité d'occurrence et mettent en évidence les facteurs environnementaux influençant la présence des espèces. Parallèlement, l'étude télémétrique réalisée dans le parc de Saint-Pons a permis d'identifier trois gîtes confirmés du Murin de Bechstein, dont deux nouveaux gîtes arboricoles. La comparaison avec les prédictions du modèle de répartition a révélé des biais, tels que la sur-représentation des points proches des routes et des problèmes liés à l'occupation du sol. Ces biais et la pertinence des modèles sont discutés en détail. Les recommandations de gestion pour le parc incluent la conservation des arbres à cavités (au moins 7 par hectare), la préservation du bois mort en tant qu'élément structurant (avec 1 à 3 par hectare), et des améliorations dans la structuration du paysage pour améliorer le territoire de chasse du Murin de Bechstein. Les recherches futures devraient se concentrer sur l'intégration de nouvelles données de présence provenant de zones moins explorées, telles que le département des Hautes-Alpes, et sur le développement d'outils de gestion liés à la modélisation pour optimiser les efforts de conservation.

Mots clés : Radiopistage ; MaxEnt ; Bechstein ; Chiroptères ; Forêt ; Gîte ; Conservation.

Summary

In France, thirty-six bat species are currently documented and protected. This graduation work aims to enhance the understanding of forest bat distribution within the Provence-Alpes-Côte d'Azur region. The research has two main objectives: to model the distribution of forest bats using MaxEnt at a regional scale, and to conduct telemetry studies on the Bechstein's bat (*Myotis bechsteini*) within the Saint-Pons Park in Bouches-du-Rhône. Distribution models were developed for the following species: Bechstein's bat (*Myotis bechsteini*), European barbastelle (*Barbastella barbastellus*), Natterer's bat (*Myotis nattereri*), Daubenton's bat (*Myotis daubentonii*), Nathusius' pipistrelle (*Pipistrellus nathusii*), Brown long-eared bat (*Plecotus auritus*), and Alpine long-eared bat (*Plecotus macrobullaris*). These models, based on occurrence data from the Groupe Chiroptères de Provence, demonstrated effective discrimination between species presence and absence, although signs of overfitting were observed. Results include probability occurrence maps and highlight environmental factors affecting species presence. Concurrently, telemetry studies in Saint-Pons Park identified three confirmed roosts of Bechstein's bat, including two new arboreal roosts. Comparison with the distribution model predictions revealed biases, such as overrepresentation near roads and issues related to land use. These biases and the relevance of the models are discussed in detail. Management recommendations for the park include conserving cavity trees (at least 7 per hectare), preserving deadwood as a structural element (with 1 to 3 dead trees per hectare), and enhancing landscape structuring to support Bechstein's bat hunting territories. Future research should focus on integrating new occurrence data from less surveyed areas, such as the Hautes-Alpes department, and developing management tools linked with modeling to optimize conservation efforts.

Key words : Radio-tracking ; MaxEnt ; Bechstein ; Chiroptera ; Forest ; Roost ; Conservation.

TABLE DES MATIÈRES

1	Contexte général.....	12
1.1	Conservation des chiroptères : reconnaissance et importance.....	12
1.2	Chauves-souris et forêts.....	12
1.2.1	Bio-indicateurs de gestion.....	12
1.3	Etat des études sur les chiroptères.....	12
2	La question du travail de fin d'étude.....	14
2.1	Hypothèse générale.....	14
2.2	Objectif du travail de fin d'étude.....	14
3	Revue de littérature.....	15
3.1	La modélisation de la répartition d'une espèce.....	15
3.1.1	Outils de modélisations.....	15
3.1.2	La notion de niche.....	15
3.1.3	L'Outil de modélisation MaxEnt.....	17
3.1.3.1	Maximisation de l'entropie.....	17
3.2	L'étude télémétrique de Gémenos.....	18
3.2.1	Technique de radiopistage.....	18
3.2.2	Projet de Gémenos.....	19
3.2.3	Synthèse des précédentes études sur le parc se Saint-Pons.....	20
3.3	Les espèces de chauves-souris concernées par ce travail.....	21
3.3.1	Murin de Bechstein, <i>Myotis bechsteinii</i> (Kuhl, 1818).....	21
3.3.2	Barbastelle d'Europe, <i>Barbastella barbastellus</i> (Schreber, 1774).....	22
3.3.3	Murin de Natterer, <i>Myotis nattereri</i> (Kuhl, 1817).....	22
3.3.4	Murin de Daubenton, <i>Myotis daubentonii</i> (Kuhl, 1817).....	23
3.3.5	Pipistrelle de Nathusius, <i>Pipistrellus nathusii</i> (Keyserling & Blasius, 1839).....	23
3.3.6	Oreillard roux, <i>Plecotus auritus</i> (Linnaeus, 1758).....	24
3.3.7	Oreillard montagnard, <i>Plecotus macrobullaris</i> (Kuzjakin, 1965).....	24
4	Matériel et méthode.....	26
4.1	Modélisation.....	26
4.1.1	DBchiroGCP.....	26
4.1.2	Les facteurs environnementaux.....	26
4.1.2.1	Les couches testées à l'échelle de la PACA.....	26
4.1.2.2	Le formatage.....	30
4.1.2.3	Corrélations entre facteurs environnementaux.....	30
4.1.2.4	Estimation de la densité de présence et sélection des points de fond.....	31
4.1.2.5	Grille de biais.....	31
4.1.2.6	Évaluation des paramétrages du modèle par ENMeval.....	31

4.1.2.7	Indicateurs de performances.....	33
4.1.3	Le gain dans MaxEnt.....	35
4.1.4	Les réponses aux facteurs environnementaux	35
4.2	Télémétrie de Gémenos	36
4.2.1	La capture des individus.....	36
4.2.2	Suivi des individus	37
4.2.3	Description des gîtes	37
5	Résultats.....	38
5.1	Modélisation	38
5.1.1	Caractéristiques des modèles retenus	38
5.1.2	Cartes et statistiques	39
5.1.2.1	La Barbastelle d'Europe.....	40
5.1.2.2	Le Murin De Bechstein	41
5.1.2.3	Le Murin De Natterer.....	42
5.1.2.4	Le Murin De Daubenton	43
5.1.2.5	La Pipistrelle De Nathusius	44
5.1.2.6	L'Oreillard montagnard.....	45
5.1.2.7	L'Oreillard roux	46
5.2	Télémétrie de Gémenos	47
5.2.1	Cartographie des gîtes confirmés	47
5.3	Comparaison des résultats de la télémétrie avec les prédictions de la modélisation	48
6	Analyse résultats	49
6.1	Modélisation	49
6.1.1	Caractéristiques des modèles.....	49
6.1.2	Statistiques spatiales.....	50
6.1.2.1	Barbastelle d'Europe.....	50
6.1.2.2	Murin de Bechstein	50
6.1.2.3	Murin de Natterer.....	50
6.1.2.4	Murin de Daubenton.....	51
6.1.2.5	Pipistrelle de Nathusius	51
6.1.2.6	Oreillard montagnard	51
6.1.2.7	Oreillard roux	52
7	Discussion.....	53
7.1	Modélisation des espèces.....	53
7.1.1	Barbastelle d'Europe.....	53
7.1.2	Murin de Bechstein	53
7.1.3	Murin de Natterer	53

7.1.4	Murin de Daubenton	54
7.1.5	Pipistrelle de Nathusius	54
7.1.6	Oreillard montagnard.....	54
7.1.7	Oreillard roux	55
7.2	Les biais de la modélisation	55
7.2.1	Le réseau routier	55
7.2.2	Le facteur occupation du sol et sa classe « infrastructure ».....	56
7.2.3	La Camargue.....	56
7.2.4	Différences d'échantillonnage	56
7.2.5	Perspectives d'améliorations et état de la modélisation.....	56
7.3	Téléométrie du parc de Saint-Pons	57
7.3.1	Recommandations de gestions.....	57
7.3.1.1	Identification et maintien des arbres à cavités	57
7.3.1.2	Structuration du paysage : bois mort et éclaircissement	58
7.3.1.3	Gestion des points d'eau et des cours d'eau	59
7.3.1.4	Gestion des lisières et des milieux ouverts	59
7.3.1.5	Surveillance des bâtiments-gîtes.....	59
7.4	Comparaison	59
7.4.1	Limitations de l'étude de comparaison	60
8	Conclusions	61
9	Perspectives du travail.....	62
9.1	Suggestions pour des études ultérieures.....	62
	Descriptif du travail réalisé par l'étudiant.....	63
	Bibliographie et recherche autonome.....	63
	Modélisation MaxEnt.....	63
	Téléométries diurnes	63
	Rédaction	63
	Bibliographie.....	64
	Annexes.....	71
	Annexe A : Kernel 50 de la colonie de Murin de Bechstein de Gémenos	71
	Annexe B : Dispositifs de capture à la téléométrie de Gémenos.....	71
	Annexe C : Photographies d'un filet japonais disposé pour une capture à L'Epine (05)	73
	Annexe D : Caractéristiques des individus capturés et équipés	74
	Annexe E : Suivi des individus au cours de la téléométrie de Gémenos.....	75
	Annexe F : Résultats des comptages en sortie de gîte durant la téléométrie	76
	Annexe G : Fiche de l'arbre gîte N2	77
	Annexe H : Fiche de l'arbre gîte B118.....	78

Annexe I : Photos du gîte N2.....	79
Annexe J :Photos du gîte B118.....	79
Annexe K : Photos du gîte Chapelle Saint-Martin.....	80

TABLE DES FIGURES

<i>Figure 1 Diagramme BAM reproduit selon Soberón et Peterson (2005)</i>	16
<i>Figure 2 Gradient des types de modélisations selon Sillero (2011)</i>	16
<i>Figure 3 La biangulation en télémétrie</i>	18
<i>Figure 4 Emplacement géographique du parc de Saint-Pons</i>	19
<i>Figure 5 Lieux des gîtes recensés de Murin de Bechstein au parc de Saint-Pons avant 2024</i>	20
<i>Figure 6 Carte du modèle numérique de terrain de la PACA</i>	26
<i>Figure 7 Carte des pentes de la PACA</i>	27
<i>Figure 8 Carte de la distance au réseau routier en PACA</i>	27
<i>Figure 9 Carte de la distance aux habitations en PACA</i>	27
<i>Figure 10 Carte de la distance aux forêts fermées en PACA</i>	28
<i>Figure 11 Carte de la distance aux forêts ouvertes en PACA</i>	28
<i>Figure 12 Carte des sylvoécotégions de la PACA</i>	28
<i>Figure 13 Carte de la distance aux plans d'eau permanent en PACA</i>	29
<i>Figure 14 Carte de la distance aux cours d'eau permanent de la PACA</i>	29
<i>Figure 15 Carte de l'occupation du sol de la PACA</i>	29
<i>Figure 16 Carte de l'écart annuel de température de la PACA</i>	30
<i>Figure 17 Corrélation entre les facteurs environnementaux des modélisations</i>	31
<i>Figure 18 Evaluation des combinaisons de paramètres MaxEnt</i>	33
<i>Figure 19 Principe de l'AUC illustré avec la courbe ROC</i>	34
<i>Figure 20 Carte de l'emplacement des anciens gîtes (avant 2024) et de l'emplacement des sites de capture selon l'occupation du sol (ocsol)</i>	36
<i>Figure 21 Comparaison des indicateurs AUC et Test Gain des modèles</i>	38
<i>Figure 22 Modélisation de la répartition de la Barbastelle d'Europe</i>	40
<i>Figure 23 Modélisation de la répartition du Murin de Bechstein</i>	41
<i>Figure 24 Modélisation de la répartition du Murin de Natterer</i>	42
<i>Figure 25 Modélisation de la répartition du Murin de Daubenton</i>	43
<i>Figure 26 Modélisation de la répartition de la Pipistrelle de Nathusius</i>	44
<i>Figure 27 Modélisation de la répartition de l'Oreillard montagnard</i>	45
<i>Figure 28 Modélisation de la répartition de l'Oreillard roux</i>	46
<i>Figure 29 Carte des gîtes confirmés</i>	47
<i>Figure 30 Statistiques de l'occurrence prédite du Murin de Bechstein selon MaxEnt et carte de répartition dans le parc de Saint-Pons</i>	48
<i>Figure 31 Kernel 50 de la colonie de Murin de Bechstein de Gémenos réalisé par Beguier (2015)</i>	71
<i>Figure 32 Dispositifs de capture de la télémétrie proche de l'abbaye de Saint-Pons (01-07-24)</i>	71
<i>Figure 33 Dispositifs de capture de la télémétrie proche de l'arbre B118 (06-07-24)</i>	72
<i>Figure 34 Dispositifs de capture de la télémétrie proche de la chapelle Saint-Martin (01-07-24)</i>	72
<i>Figure 35 Photos d'un filet de capture lorsque les cannes ne sont pas montées</i>	73
<i>Figure 36 Fiche enquête nationale arbre N2</i>	77
<i>Figure 37 Fiche enquête nationale arbre B118</i>	78
<i>Figure 38 Photos du gîte N2</i>	79
<i>Figure 39 Photos du gîte B118</i>	79
<i>Figure 40 Photos de la chapelle Saint-Martin</i>	80

TABLE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 Synthèse des précédentes études sur le Parc de Saint-Pons</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 2 Synthèse du descriptif des espèces traités dans ce travail.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 3 Liste des facteurs environnementaux</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 4 Synthèse des caractéristiques des modèles MaxEnt retenus</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 5 Synthèse des caractéristiques des modèles</i>	<i>49</i>
<i>Tableau 6 Biométrie des individus capturés et équipés</i>	<i>74</i>
<i>Tableau 7 Récapitulatif du suivi des individus équipés.....</i>	<i>75</i>
<i>Tableau 8 Comptages en sortie de gîte de la télémétrie du parc de Saint-Pons.....</i>	<i>76</i>

Acronymes	Signification
AICc	Akaike Information Criterion corrected
AUC	Area Under Curve
BAM	Biotique, Abiotique, Mouvement
CD13	Conseil Départemental des Boûches-du-Rhône
CHELSEA	Climatology at High resolution for the Earth's Land Surface Area
CMS	Conservation of Migratory Species
FC	Feature Class
GCP	Groupe Chiroptères de Provence
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GECEM	Groupe d'Étude des Cétacés de Méditerranée
LPO	Ligue de Protection des Oiseaux
MaxEnt	Maximum Entropy
MNT	Modèle Numérique de Terrain
OBIS	Ocean Biodiversity Information System
OR10	10% training presence Omission Rate
ORmtp	Omission Rate minimum training presence
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PRAC	Plan Régional d'Action en faveur des Chiroptères
QGIS	Quantum Geographic Information
RM	Regularization Multiplier
ROC	Receiver Operating Characteristic
SDM	Spatial Distribution Models
shp	shapefile

1 CONTEXTE GÉNÉRAL

1.1 CONSERVATION DES CHIROPTÈRES : RECONNAISSANCE ET IMPORTANCE

Les chauves-souris, ou chiroptères, jouent un rôle écologique essentiel, reconnu à l'échelle européenne à travers des accords internationaux comme l'*Agreement on the Conservation of Populations of European Bats* (EUROBATS), sous l'égide de la *Convention sur les Espèces Migratrices* (CMS) (EUROBATS, 1991). Actuellement, trente-six espèces sont recensées en France (Arthur & Lemaire, 2021). Parmi elles, dix-neuf sont considérées comme prioritaires dans le *Plan National d'Actions Chiroptères 2016-2025 de France* (Tapiero *et al.*, 2014; Robert & Tapiero, 2014). Les efforts de conservation des chiroptères en France sont soutenus par des institutions telles que le Muséum National d'Histoire Naturelle et l'Inventaire National du Patrimoine Naturel. À l'échelle régionale, des Groupes Chiroptères coordonnent les actions locales, contribuant ainsi à préserver et avoir une meilleure connaissance des populations de chauves-souris et leurs habitats de manière ciblée et adaptée aux besoins spécifiques de chaque région. C'est notamment sous l'action et la supervision du Groupe Chiroptères de Provence que les études présentées dans ce travail s'inscrivent.

Au-delà de leur reconnaissance et de leur importance dans les efforts de conservation, comprendre plus en détail les interactions entre les chauves-souris et les écosystèmes dans lesquels elles évoluent est l'ambition de ce travail. L'un des milieux où leur rôle est particulièrement significatif est la forêt, où elles agissent notamment comme des bio-indicateurs clés pour la gestion durable de ces habitats.

1.2 CHAUVES-SOURIS ET FORÊTS

1.2.1 BIO-INDICATEURS DE GESTION

Mieux connaître l'écologie des chauves-souris permet notamment de prévoir la réaction de la biodiversité à la gestion forestière. En effet, la santé des populations de chauves-souris, en tant que principaux prédateurs d'insectes et d'autres invertébrés, est un indicateur clé de la qualité de l'environnement. Leur valeur en tant qu'indicateur de la biodiversité est reconnue, et elles pourraient bientôt être adoptées comme groupe indicateur au niveau de l'Union Européenne, basé sur le prototype de l'indicateur pan-européen des chauves-souris (Haysom *et al.*, 2014; Van der Meij *et al.*, 2015). Elles constituent de bons bio-indicateurs (Tillon, 2015) pour plusieurs raisons :

- › Leur positionnement trophique, intégrant les pressions sur l'ensemble du réseau trophique et les habitats.
- › Les techniques récentes facilitant leur étude et leur suivi en forêt, notamment la détection ultrasonore et la télémétrie.
- › Le faible nombre d'espèces (trente-six actuellement en France, bien que ce nombre devrait augmenter grâce aux études génétiques pan-européennes).
- › Leur utilisation complexe de la forêt, nécessitant de nombreux gîtes, des terrains de chasse aux caractéristiques souvent floues à grande échelle, et des corridors de déplacement.
- › Les connaissances actuelles sur les relations entre les différentes espèces et les habitats constituant nos paysages, démontrant que la forêt joue un rôle de refuge très fort pour ces espèces et l'ensemble de la biodiversité.

Les avancées dans l'étude des chauves-souris en tant que bio-indicateurs de la gestion forestière soulèvent des questions sur l'état actuel de la recherche. Il est pertinent de se tourner vers les études existantes pour évaluer comment elles ont abordé les interactions entre les chiroptères et les habitats forestiers, et comment ce travail peut contribuer à enrichir cette compréhension.

1.3 ETAT DES ÉTUDES SUR LES CHIROPTÈRES

En Europe, les études se sont concentrées sur la sélection des gîtes et seulement quelques études se sont ensuite intéressées à une espèce, à son comportement ou à la sélection de certains habitats ou bien encore à l'influence de l'organisation de paysages comprenant de la forêt pour expliquer la présence de chauves-souris.

Malgré ces résultats discutables selon certains auteurs (Tillon, 2015) ces études (Tyre *et al.*, 2003; Barataud, 2012; Skalak *et al.*, 2012; Stahlschmidt & Brühl, 2012) démontrent que la présence de forêt influence avantageusement la richesse en chiroptères (Smith, 2006). Au final ce ne sont que quelques rares études qui ont eu pour objectif de s'intéresser à l'ensemble du cortège d'espèces présentes et à leurs relations avec les habitats forestiers disponibles (Meschede & Heller, 2003; Barataud & Giosa, 2012; Müller *et al.* 2012; Archaux *et al.* 2013).

Face aux limites des études existantes, qui se sont souvent concentrées sur des aspects spécifiques des chiroptères sans prendre en compte l'ensemble des espèces et leurs interactions avec les habitats forestiers, il devient essentiel de combler ces lacunes. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de fin d'études, avec pour objectif d'explorer de manière plus globale et intégrée la répartition des chauves-souris forestières en région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

2 LA QUESTION DU TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDE

2.1 HYPOTHÈSE GÉNÉRALE

L'hypothèse posée est la suivante : « La répartition des chauves-souris forestières répond à des facteurs environnementaux qui permettraient la modélisation de leur répartition à l'échelle de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. »

C'est dans ce cadre que s'insère une modélisation de la répartition de différentes espèces de chiroptères forestiers ainsi qu'une étude télémétrique sur une des espèces ciblées, le Murin de Bechstein.

2.2 OBJECTIF DU TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDE

L'objectif de ce travail de fin d'études est double. Premièrement, il vise à modéliser la répartition des chauves-souris forestières en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA). Deuxièmement, une étude télémétrique de jour sur Gémenos doit permettre de repérer des gîtes de Murin de Bechstein.

À l'issue de ce travail, la modélisation construite sera analysée et critiquée. Les conclusions permettront de prendre en compte les corrections et les regards critiques à apporter aux modélisations construites pour les autres espèces.

3 REVUE DE LITTÉRATURE

3.1 LA MODÉLISATION DE LA RÉPARTITION D'UNE ESPÈCE

3.1.1 OUTILS DE MODÉLISATIONS

Récemment, les outils de modélisation de la distribution d'une espèce (communément nommé SDM pour *Spatial Distribution Models*) sont popularisés parmi les études actuelles (Franklin 2010; Peterson *et al.* 2011; Guisan *et al.*, 2017). Les études de projection en cas de changement global afin de visualiser de potentiels déplacements ainsi que les répartitions futures des espèces ont notamment recours à ces outils (IPBES 2016). Selon diverses sources, cette croissance d'utilisation de ces outils est liée au fait qu'ils nécessitent relativement peu de données et qu'ils sont largement explicités dans de multiples études par exemple, Elith *et al.* (2008), Elith *et al.* (2011), Merow *et al.* (2013) et Guisan *et al.* (2017).

Les modélisations de répartition des espèces repose sur des données de présence d'individus et des couches géographiques d'informations environnementales. Ces données sont amplement disponibles en format numérique. Par exemple, des référentiels en ligne fournissent des données sur les distributions des espèces (GBIF et OBIS) (Chust *et al.*, 2024), sur les mouvements individuels des animaux (MoveBank) ou encore sur le climat (WorldClim et CHELSA) (Karger *et al.*, 2021), ainsi que sur l'occupation du sol et d'autres produits de télédétection (Copernicus). Dès lors, la modélisation consiste en un premier temps à relier les observations à des sites spécifiques selon les conditions environnementales prévalant à ceux-ci. Puis, des prédictions dans le temps et l'espace peuvent se faire en projetant le modèle sur les couches environnementales.

Bien que les outils de modélisation de la répartition des espèces offrent une puissance analytique, leur efficacité dépend en grande partie de la manière dont ils sont théoriquement fondés. Comprendre ces concepts est essentiel pour interpréter les résultats des modélisations et pour appréhender la complexité des interactions espèce-environnement.

3.1.2 LA NOTION DE NICHE

La compréhension de la répartition des espèces repose sur la théorie des niches, qui trouve ses origines dans les théories de Joseph Grinnell et G. Evelyn Hutchinson (Soberon, 2007). Ces théories avancent l'idée qu'une espèce possède une niche fondamentale et une niche réalisée (Hutchinson, 1957). La niche fondamentale englobe toutes les conditions abiotiques où une espèce peut survivre, là où sa croissance démographique est positive. Elle est également envisagée comme un hypervolume n-dimensionnel où les axes représentent différents facteurs environnementaux. En revanche, la niche réalisée se compose des parties de la niche fondamentale où une espèce peut survivre malgré la présence de concurrents. Deux facteurs influencent donc l'étendue de la niche réalisée : les interactions interspécifiques positives (Bruno *et al.*, 2003) et les interactions interspécifiques négatives (Hutchinson, 1957). À cela s'ajoute la capacité de dispersion de l'espèce (Soberon, 2007), qui influence la répartition actuelle de l'espèce. Certains habitats, bien que peu adaptés, peuvent en effet être utilisés par l'espèce en raison de leur facilité d'accès à partir d'habitats sources (Pulliam, 1988).

Afin de mieux visualiser cette théorie, le diagramme BAM (Biotique, Abiotique, Mouvement) est une représentation abstraite de l'espace géographique (Soberón, 2007). Comme illustré dans la *Figure 1*, le diagramme est divisé en régions où les trois principaux facteurs, précédemment évoqués, limitent la distribution d'une espèce (Peterson, 2006; Hirzel & Le Lay, 2008) : les facteurs abiotiques (A), biotiques (B) et de dispersion (M). En dehors de l'espace défini par ces trois facteurs, l'habitat n'est pas propice pour l'espèce. Cependant, il est également inapproprié en dehors de la zone commune aux trois facteurs. Cette zone, située au centre de la figure en gris sombre, représente les régions où l'espèce est effectivement présente. Elle est aussi appelée niche occupée. Par conséquent, la zone commune aux facteurs abiotiques et biotiques, en pointillé blanc, représente les régions où se trouve la niche réalisée, tandis que la zone abiotique seule, en gris clair, représente les régions de la niche fondamentale. Les cercles blancs représentent les absences d'espèces et les croix représentent les présences d'espèces.

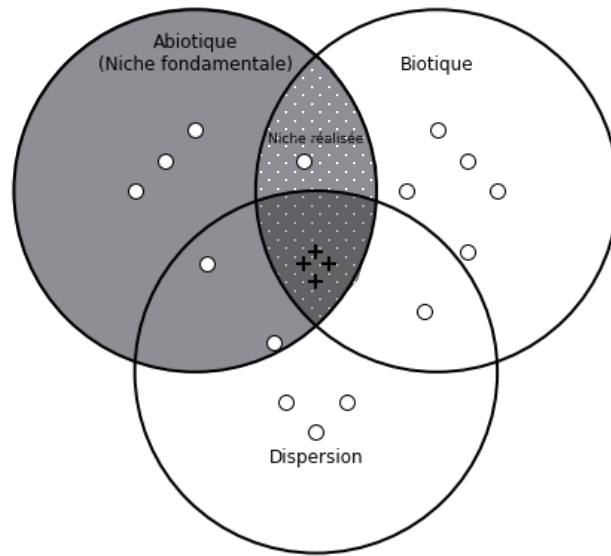


FIGURE 1 DIAGRAMME BAM REPRODUIT SELON SOBERÓN ET PETERSON (2005)

Dans le cadre d'un modèle théorique, celui-ci calcule la répartition réelle de l'espèce en fonction de l'emplacement des absences d'espèces. En pratique, cela est presque impossible avec les modélisations actuelles, car les délimitations des zones des facteurs (B, A, M) peuvent ne pas être distinctes. Les modèles de niche écologique sont donc placés sur un gradient (Figure 2), allant des modèles mécanistes capables de déterminer la niche fondamentale, aux modèles de présence uniquement, en passant par les modèles de pseudo-absence, jusqu'aux modèles de présence/absence qui se rapprochent le plus possible de la niche occupée (Sillero, 2011). Les zones grises de la Figure 2 représentent les zones prédictibles par les modèles.

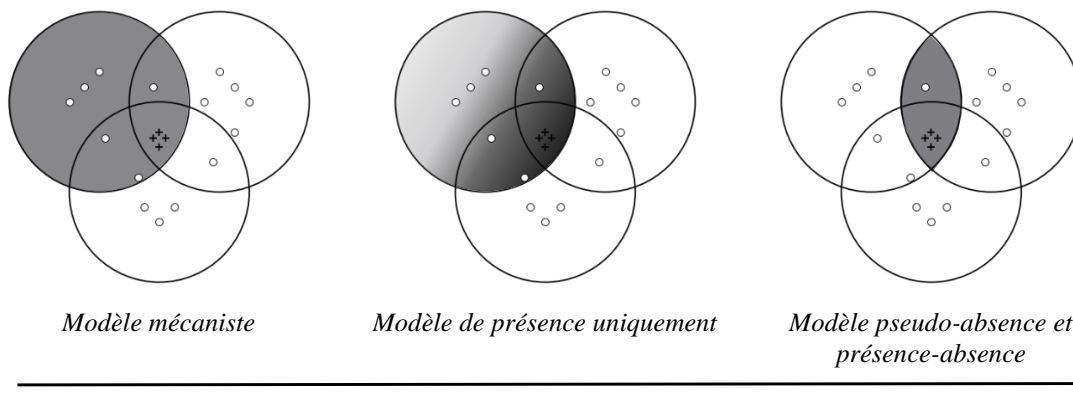


FIGURE 2 GRADIENT DES TYPES DE MODÉLISATIONS SELON SILLERO (2011)

L'assimilation de ce gradient est d'une grande importance pour interpréter de manière critique les résultats d'une modélisation selon la classification de l'outil de modélisation. De plus, les différents facteurs utilisés pour le modèle déterminent quelle partie de la niche est reflétée par la relation ajustée espèce-environnement. Les processus écologiques dépendent particulièrement de l'échelle, des données sur la biodiversité ainsi que des données environnementales qui peuvent être recueillies de manières très différentes, comportant des biais variés. De surcroit, l'impact des algorithmes disponibles pour ajuster les outils de modélisation (Elith *et al.*, 2006) ainsi que la complexité du modèle choisi (Merow *et al.*, 2014) affecteront largement la relation espèce-

environnement. Ainsi, une réflexion attentive sur les hypothèses sous-jacentes et les choix de modélisation dans les études avec outils de modélisation est essentielle pour comprendre et appliquer ces modèles.

De ce fait, la prise en compte des biais dans les données influencent fortement l'interprétation critique des modèles de répartition d'espèces, l'outil MaxEnt se révèle particulièrement utile pour affiner cette interprétation en fournissant des cartes de probabilité d'occurrence et des courbes de réponse aux facteurs environnementaux.

3.1.3 L'OUTIL DE MODÉLISATION MAXENT

MaxEnt (Maximum Entropy) est un outil de modélisation des distributions d'espèces utilisant l'entropie maximale (Aarts *et al.*, (2012). Adapté aux données de présence uniquement avec des facteurs environnementaux, il génère des cartes de probabilité de présence et des courbes de réponse aux variables environnementales. MaxEnt offre une approche polyvalente pour interpréter facilement l'aptitude des habitats aux espèces pour des analyses exploratoires qualitatives (Phillips *et al.*, (2006); Elith *et al.*, (2011) ; Merow *et al.*, (2013)).

3.1.3.1 MAXIMISATION DE L'ENTROPIE

MaxEnt réalise des prédictions d'occurrence selon chaque pixel du paysage de la zone d'étude. Le principe d'entropie maximale postule que les modèles doivent être choisis de manière à être les plus similaires possibles à une distribution à priori homogène tout en étant cohérents avec les données (Dudik *et al.* 2004). Pour un prédicteur j , avec la valeur Z_j , les contraintes peuvent être écrites comme :

$$\sum_{i=1}^N Z_{ij} P^*(Z_{x_i}) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M Z_{mj}$$

Termes de l'équation :

- > x_i : Localisation du pixel i
- > Z_{x_i} : Vecteur de J variables environnementales sur x_i
- > Z_{ij} : Valeur Z_j de la variable environnementale j sur le pixel i
- > N : Nombre total de pixels sur le paysage
- > $\sum_{i=1}^N$: Somme sur tous les pixels du paysage
- > $P^*(Z_{x_i})$: Probabilité d'occurrence prédite pour le pixel i
- > $\sum_{m=1}^M$: Somme sur tous les pixels ayant une localisation de présence
- > M : Nombre total de pixels sur le paysage ayant une information de présence

Les termes de gauche de l'équation décrivent la valeur moyenne de Z_j sur la prédiction tandis que les termes de droite décrivent la valeur moyenne de Z_j sur les M localisations de présence. Plusieurs distributions de $P^*(Z_{x_i})$ peuvent satisfaire cette équation. Par conséquent, par le principe d'entropie maximum, MaxEnt sélectionne dans un premier temps les modèles avec le plus de similarité à la distribution homogène (Merow *et al.*, 2013).

Pour généraliser, cette formule peut être utilisée :

$$P^*(Z_{x_i}) = \frac{Q_{x_i} e^{(Z_{x_i} \gamma)}}{\sum_i Q_{x_i} e^{(Z_{x_i} \gamma)}}$$

Termes de l'équation :

- > Q_{x_i} : Probabilité de l'occurrence uniforme. $Q_{x_i} = \frac{1}{N}$

- γ : Vecteur de coefficient de régression. $Z_{x_i}\gamma = Z_{1x_i} \gamma_1 + Z_{2x_i} \gamma_2 + \dots + Z_{Jx_i} \gamma_J$. Ce coefficient permet la normalisation, c'est-à-dire que les probabilités d'occurrences soient des probabilités d'occurrence relative.

Pour obtenir la solution finale, MaxEnt maximise une fonction de gain, une fonction dite de maximum de vraisemblance (Merow et al, 2013). Maximiser le gain correspond à trouver le modèle qui peut mieux différencier les présences des emplacements d'arrière plans. Il est composé de trois termes dont le dernier fait notamment appel à un coefficient de régularisation qui permet de lutter au surapprentissage du modèle. Ce dernier se produit lorsqu'un modèle statistique ou un algorithme apprend non seulement les tendances générales des données d'entraînement, mais aussi les détails spécifiques, y compris le bruit ou les fluctuations aléatoires qui ne représentent pas une véritable tendance.

$$\begin{aligned}
 \text{gain} = & \text{somme des valeurs prédites aux positions de présence} \\
 & - \log (\text{somme des valeurs prédites aux emplacements d'arrière plans}) \\
 & - (\text{pénalité de surajustement})
 \end{aligned}$$

3.2 L'ÉTUDE TÉLÉMÉTRIQUE DE GÉMENOS

3.2.1 TECHNIQUE DE RADIOPISTAGE

Sous le terme de télémétrie est désigné une technique de mesure de distance d'un objet lointain selon différents outils possibles. Dans le cadre de suivi de populations animales, il est plus adéquat de parler de radiopistage. L'objectif théorique de ce dernier est relativement simple : déterminer la position de l'animal en milieu naturel. Pour cela, les animaux sont équipés d'émetteurs VHF. La réception du signal émis se fait à l'aide d'un ensemble antenne-récepteur adapté (Kenward, 2001). La triangulation des azimuts synchrones permet d'estimer la position de l'animal de manière assez précise en fonction des conditions du suivi, comme la vitesse des animaux, la météorologie, le contexte paysager et les émetteurs utilisés. L'azimut est l'angle formé entre la direction de la chauve-souris et le nord géographique, mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre, à partir de la position de la réception du signal. Initialement développée à des fins militaires, cette technique a été employée à partir des années 1980 sur les mégachiroptères. La miniaturisation des composants électroniques l'a rendue applicable aux microchiroptères depuis les années 1990 (Kenward, 2001).

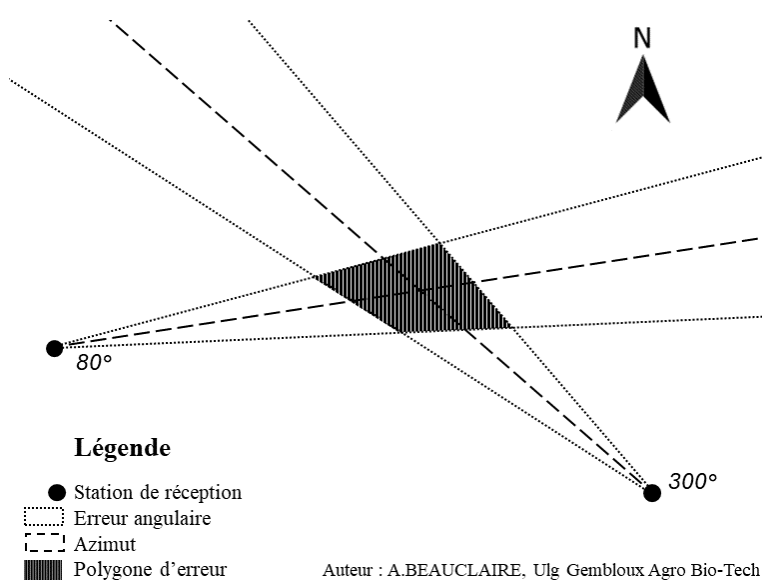


FIGURE 3 LA BIANGULATION EN TÉLÉMÉTRIE

Pour connaître la position d'un émetteur, au minimum deux stations de réception situées à des coordonnées géographiques connues sont nécessaires, c'est-à-dire deux ensembles antenne-récepteur placés en des points distincts et précis (Figure 3). De manière synchrone, les stations de réception fournissent l'azimut auquel le signal produit par l'émetteur est le mieux perçu. Celui-ci se situe donc quelque part dans la zone délimitée par l'intersection des deux angles et de leur incertitude (erreur angulaire), formant ainsi un polygone d'erreur, obtenus à partir des deux points de réception. (Janeau, 1998).

3.2.2 PROJET DE GÉMENOS

Depuis 2004, le Groupe Chiroptères de Provence (GCP) et le conseil départemental des Bouches-du-Rhône (CD13) surveillent et protègent une colonie exceptionnelle de Murin de Bechstein dans l’Espace Naturel Sensible de Saint-Pons à Gémenos, voir emplacement géographique sur la *Figure 4*.

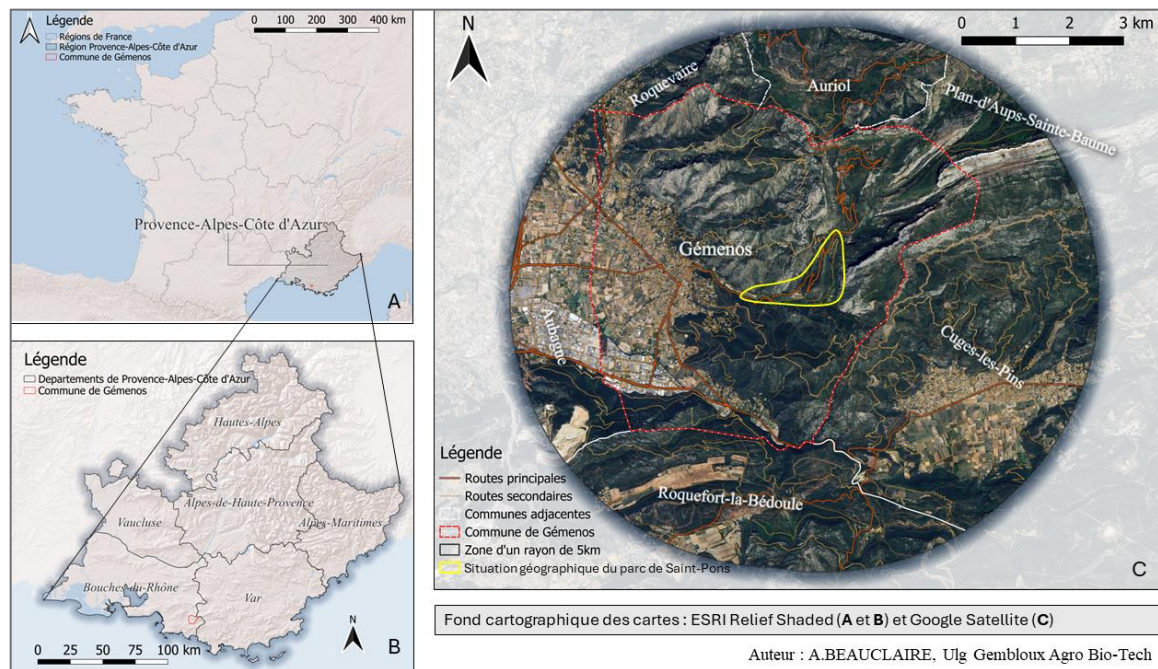


FIGURE 4 EMLACEMENT GÉOGRAPHIQUE DU PARC DE SAINT-PONS

Il existe peu de colonies de reproduction de cette espèce en région PACA, et celle-ci est la seule connue dans les Bouches-du-Rhône (Sané, 2020). Les gîtes occupés par cette colonie, sont identifiés comme des gîtes majeurs d’importance régionale pour les chiroptères, selon la méthode de hiérarchisation du Plan National d’Action Chiroptères. Ils sont au nombre de trois confirmés : un platane proche de l’Abbaye de Saint-Pons (A), la chapelle Saint-Martin (B) et le Moulin de Saint-Pons (C) (*Figure 5*).

Cependant, il a été constaté que la colonie a déserté le platane, dont l’entrée du gîte a été torché par une cause biotique inconnue, et que le moulin n’est pas fréquemment utilisé. La gestionnaire du site doit faire face à un double défi : sécuriser la fréquentation humaine en procédant à l’abattage de certains arbres tout en identifiant rapidement les nouveaux arbres occupés par la colonie, afin de prendre en compte des chiroptères dans la gestion du patrimoine arborée du parc. Notamment car les Murin de Bechstein sont des espèces protégées.

Pour répondre à cette problématique, le GCP a proposé de mettre en place une télémétrie des populations de Murin de Bechstein afin de découvrir de nouveaux gîtes, majoritairement organisée en journée. Cette action s’inscrit dans les objectifs du Plan Régional d’Action en faveur des Chiroptères (PRAC), déclinaison régionale du Plan National d’Actions Chiroptères soutenu par le Ministère en charge de l’environnement. Le commanditaire de ce projet est donc le CD13.



FIGURE 5 LIEUX DES GÎTES RECENSÉS DE MURIN DE BECHSTEIN AU PARC DE SAINT-PONS AVANT 2024

3.2.3 SYNTHÈSE DES PRÉCÉDENTES ÉTUDES SUR LE PARC SE SAINT-PONS

Précédemment, d'autres études ont été réalisées notamment à propos des anciens gîtes de Murin de Bechstein. Ces études comprenaient chacune des études télémétriques (Tableau 1).

TABLEAU 1 SYNTHÈSE DES PRÉCÉDENTES ÉTUDES SUR LE PARC DE SAINT-PONS

Référence	Objectifs principaux	Résultats clés	Conclusions et recommandations
(Beguier, 2015)	<p>Analyser la colonie sous différents aspects :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Gîtes de reproduction › Distance et habitat de chasse › Domaine vital › Comportement de chasse 	<p>Zones de chasse : 1744 ha pour huit individus suivis (un record pour cette espèce selon la bibliographie)</p> <p>Distances parcourues par les femelles : 1312 m à 4157 m</p> <p>Habitats préférentiels : Indiqués par Kernel 50 présente dans l'Annexe A</p>	<p>Adaptation à l'environnement : Environnement restrictif et détérioré</p> <p>Robustesse des tests : Nécessité d'améliorer la robustesse des tests</p> <p>Gestion et solutions :</p> <ul style="list-style-type: none"> › Augmenter l'offre de gîtes › Améliorer les terrains de chasse › Augmenter la disponibilité de proies

Référence	Objectifs principaux	Résultats clés	Conclusions et recommandations
(Jean-Pierre, 2017)	Étudier l'effet de la température dans la chapelle Saint-Martin sur l'activité de la colonie et identifier les habitats favorables au Murin de Bechstein	<p>Gîtes de reproduction :</p> <ul style="list-style-type: none"> > La chapelle n'est pas le gîte principal > Le platane proche de l'abbaye présente les effectifs les plus importants <p>Autres gîtes : Existence probable d'autres gîtes inconnus</p> <p>Habitats favorables : Presque exclusivement situés dans le parc</p>	<p>Limitation des habitats disponibles pour le Murin de Bechstein</p> <p>Recherches et gestion :</p> <ul style="list-style-type: none"> > Poursuivre la recherche de nouveaux gîtes > Améliorer la gestion des habitats
(Bonnot, 2017)	Calculer les aires de chasse et identifier le domaine vital et les habitats de chasse	<p>Aires de chasse :</p> <ul style="list-style-type: none"> > Générales : 18 ha > Intensives : 160 ha <p>Distances de chasse : Supérieures à la moyenne bibliographique</p> <p>Habitats de chasse :</p> <ul style="list-style-type: none"> > Forêt de feuillus > Ripisylve > Maquis arboré > Milieux ouverts (prairie/culture) 	<p>Colonie atypique : Parcours de grandes distances</p> <p>Utilisation des habitats : Habitats atypiques pour compenser le manque d'habitats favorables</p> <p>Gestion des habitats : Préserver et augmenter les habitats favorables</p>

3.3 LES ESPÈCES DE CHAUVES-SOURIS CONCERNÉES PAR CE TRAVAIL

Au cours de la modélisation de la répartition des espèces forestières et de l'étude télémétrique de Gémenos, plusieurs espèces de chauves-souris sont étudiées. Pour une meilleure compréhension, elles sont décrites ci-dessous, et un récapitulatif de ces informations est présenté dans le *Tableau 2*.

3.3.1 MURIN DE BECHSTEIN, *MYOTIS BECHSTEINII* (KUHLE, 1818)

Le Murin de Bechstein est une espèce rare, voire très rare, en France (Tillon, 2008). Malgré cela, sa présence est quasi permanente dans tout le pays, à l'exception de la zone méditerranéenne, où il n'est observé que dans les parties basses de Provence-Alpes-Côte d'Azur, en particulier dans le Var. Dans le département voisin des Bouches-du-Rhône, on ne connaît actuellement que deux gîtes de reproduction à Gémenos, une chapelle et un platane. La pauvreté des peuplements forestiers favorables rend peu probable la découverte d'autres noyaux importants dans cette zone (Sané, 2020).

Le Murin de Bechstein est l'espèce de chauve-souris la plus forestière en Europe. Il est considéré comme la « chauve-souris de forêt vierge » (Schlapp, 1990 dans (Barataud, 2006; Barataud *et al.*, 2005; Meschede & Heller, 2003), il est donc une espèce parapluie au sens de Levrel (2007). Il est inféodé aux milieux forestiers feuillus bien structurés et plus ou moins humides, avec une canopée fermée si possible. Il est très rarement présent dans les forêts de résineux, sauf si le sous-étage est riche en feuillus (Tillon, 2008). Il préfère

également les forêts de sapins et de pins en montagne. Actuellement, les pressions sur cette espèce forestière proviennent des différents modes de gestion sylvicole, notamment les suppressions d'arbres morts et les rajeunissements trop brusques, qui sont néfastes.

En Provence, le Murin de Bechstein souffre également des travaux d'aménagements inadaptés en raison de ses affinités pour les anciennes constructions à proximité des forêts (Sané, 2020). En effet, parfois, il choisit des paysages anthropiques comme sites de gîte (Tillon, 2008).

Pour pallier ces pressions, des directives de gestion ont été proposées, telles que le maintien de peuplements de feuillus avec des arbres vieillissants, riches en cavités de type fente et trous de pics. Une autre mesure de gestion est de maintenir une structure équilibrée et une stratification riche du paysage forestier, en proscrivant les coupes rases, et en conservant une strate arbustive et intermédiaire sur 15 à 30% de la surface des peuplements en feuillus. Enfin, il est essentiel de maintenir des corridors boisés structurés entre les zones de gîtes connus, car la fragmentation intra-forestière est rédhibitoire pour le succès reproducteur de l'espèce (Kerth & Melber, 2009).

3.3.2 BARBASTELLE D'EUROPE, *BARBASTELLA BARBASTELLUS* (SCHREBER, 1774)

La Barbastelle d'Europe est présente partout en France même si celle-ci est en grande régression dans le Nord de la France. Cette espèce se réfugie principalement dans les cavités arboricoles (Russo *et al.*, 2004). En effet, cette chauve-souris est spécialisée dans les forêts et elle est dite de forêt vierge (Meschede & Heller, 2003 dans (Tillon, 2008)). Cette espèce semble indicatrice d'une surface forestière très élevée autour de ses noyaux de population (Meschede & Heller, 2003). Elle est même décrite comme étant très peu adaptable aux modifications (même légères) de son environnement (Bensettiti *et al.*, 2002).

Actuellement, elle a été enregistrée dans l'entièreté de la PACA même si elle est rarissime dans le département des Bouches-Du-Rhône ou sa détection est des plus probables le long des ripisylves de la Durance (Haquart *et al.*, 1997). Elle est également rare dans le Var malgré sa préservation dans la Sainte-Baume et le massif des Maures. Sans être commune, elle est régulière comme sur les montagnes de Lure, le massif des manges (04) et les gorges de la Tinée (06) et celles du Verdon (04) ainsi que le secteur alpin de la Haute-Durance (LPO PACA, GECM & GCP, 2016). A l'échelle de la France, elle est présente partout et est localisée surtout dans les départements du Nord et méditerranéens (Bodin, 2011).

Les pressions sur la Barbastelle d'Europe sont essentiellement liées à la gestion forestière puisque cette espèce est d'une grande sensibilité aux changements de son environnement. Ce qui lui est néfaste sont donc une gestion favorisant les peuplements jeunes et d'une seule essence, les coupes à blanc sur de grandes surfaces et l'abattage systématique des arbres morts. (Jaberg & Bohnenstengel, 2006).

Des facteurs fondamentaux doivent être pris en compte pour la gestion des zones situées dans un rayon de un à trois kilomètres autour des colonies de reproduction. Il est ainsi recommandé de conserver les arbres foudroyés et ceux présentant des fentes (Tillon, 2008). En outre, un nombre important d'arbres potentiels de gîtes devrait être maintenu en raison des nombreux changements de gîtes de cette espèce.

Il est également essentiel de favoriser les habitats pour les papillons de nuit, notamment les chênaies avec un sous-bois composé de graminées, de buissons et d'arbustes couvrant au moins 30% de la surface. Pour ce faire, certains auteurs recommandent d'éviter les plantations d'essences non autochtones et de privilégier la futaie irrégulière ou le taillis sous futaie (Roué & Barataud, 1999; Sierro, 1999; Bensettiti *et al.*, 2002).

3.3.3 MURIN DE NATTERER, *MYOTIS NATTERERI* (KUHLE, 1817)

Le Murin de Natterer est une espèce relativement mal connue en France, bien qu'elle soit présente sur l'ensemble du territoire national, en plaine comme en montagne. Des études génétiques ont révélé l'existence d'une espèce jumelle, dite « Type A », originaire du refuge glaciaire en Italie (Crespon, 1844). Cependant, à

ce jour, aucune étude n'a permis de distinguer la répartition entre ces deux espèces en région PACA, où elles sont toutes deux présentes (Puechmaille *et al.*, 2012) et sont regroupées sous le terme Murin de Natterer *sensu lato*. Récemment, l'espèce jumelle de « Type A » a été renommée comme étant *Myotis crypticus* (Juste *et al.*, 2019) et sa présence dans le sud de la France a été confirmée. Cependant, la limite Nord et Est de la répartition de *Myotis crypticus*, notamment par rapport à l'occurrence de *Myotis nattereri*, est inconnue.

En région PACA, cette espèce est fréquemment observée, avec des colonies de mise bas répertoriées sur l'ensemble du territoire régional. Les observations en période d'hibernation concernent les départements des Alpes-de-Haute-Provence (04), Hautes-Alpes (05), Alpes-Maritimes (06) ainsi que le Var (83).

Le Murin de Natterer a besoin de feuillus pour chasser ses proies, bien qu'il accepte également les forêts de résineux. Ainsi, les mesures de gestion recommandées incluent le maintien d'un sous-étage dense de divers feuillus et la promotion d'une forte stratification verticale des peuplements, même si ces derniers ne sont pas très diversifiés en essences. (Tillon, 2008).

3.3.4 MURIN DE DAUBENTON, *MYOTIS DAUBENTONII* (KUHLE, 1817)

Le Murin de Daubenton est l'une des espèces les plus communes en France, bien qu'il soit plus rare en altitude (Tillon, 2008). Ce qui le distingue des autres espèces est son affinité marquée pour la chasse au-dessus des fleuves, rivières et étangs (Langton *et al.*, 2010). Il chasse principalement des insectes à la surface de l'eau, comme les chironomes et les trichoptères, et parfois des petits poissons. Il recherche des gîtes proches des points d'eau (Boonman, 2000).

En région PACA, ses gîtes de mise bas incluent des ponts, des tunnels artificiels et des cavités arboricoles (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016). Il peut également chasser en forêt, notamment dans les trouées et les vieilles chênaies, et utilise les allées forestières pour se déplacer entre différents sites. Bien qu'il préfère les feuillus, il peut aussi chasser dans les forêts de résineux (Meschede & Heller, 2003).

Les directives pour préserver correctement cette espèce se concentrent sur la gestion des arbres-gîtes feuillus, tels que les chênes et les hêtres, situés à proximité des lisières et des plans d'eau. Il est essentiel de maintenir des arbres âgés riches en cavités, particulièrement près des plans d'eau, et de garantir une bonne qualité de l'eau dans les plans d'eau intra-forestiers ou à proximité des forêts (Tillon, 2008). Également une meilleure prise en compte dans la rénovation des ouvrages d'art qui peut détruire des colonies entières avec parfois l'emmurement d'individus.

3.3.5 PIPISTRELLE DE NATHUSIUS, *PIPISTRELLUS NATHUSII* (KEYSERLING & BLASIUS, 1839)

La Pipistrelle de Nathusius est présente en France à la fin de l'été et en automne, notamment lors de ses migrations, avec une prédilection pour la côte ouest (Biegala & Rideau, 2012). En région PACA, elle se trouve dans tous les départements, mais sa répartition se concentre principalement dans les zones humides telles que la Camargue, l'étang de Berre et les grandes rivières. En Provence, elle est décrite comme une migratrice partielle (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016).

Cette espèce montre une attirance particulière pour les zones humides, ce qui en fait des biotopes préférés les forêts riches en plans d'eau et en mares, ainsi que les forêts alluviales. La Pipistrelle de Nathusius fréquente également les lisières forestières et les zones humides, mais plus rarement les zones de cultures (Flaquer *et al.*, 2009). Elle est généralement présente dans les houppiers des arbres et évite les bâtiments. Malgré ses préférences, elle n'est pas très exigeante et se trouve principalement autour des boisements humides (Meschede & Heller, 2003).

Actuellement, les habitats de chasse privilégiés de la Pipistrelle de Nathusius sont dégradés, notamment les ripisylves du Rhône et de la Durance, ainsi que les zones d'endiguement croissant (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016).

Les mesures de gestion recommandées incluent l'interdiction des coupes rases, inadaptées aux haltes migratoires, le maintien de certains arbres jusqu'à leur dépérissement naturel et la préservation des zones humides dans et en lisière de forêt (Tillon, 2008).

3.3.6 OREILLARD ROUX, *PLECOTUS AURITUS* (LINNAEUS, 1758)

L'Oreillard roux est proche écologiquement du Murin de Bechstein, bien qu'il soit plus anthropophile. Cette espèce est très dépendante des milieux forestiers, aussi bien des forêts de feuillus que des forêts de résineux, avec une légère préférence pour les premières (Choquené, 2006). Un couvert boisé à proximité des gîtes, notamment lorsqu'ils sont situés dans des bâtiments, est indispensable (Entwistle *et al.*, 1997).

Bien que souvent considérée comme discrète en raison de sa difficulté de détection, l'Oreillard roux est reconnu depuis plus de cent ans pour son rôle dans la destruction biologique des insectes nuisibles. Il est aussi considéré comme une espèce indicatrice d'une amélioration des habitats forestiers (Meschede & Heller, 2003). Cette chauve-souris forestière pionnière nécessite un nombre relativement important de gîtes (Tillon, 2008).

En région PACA, l'Oreillard roux se trouve principalement dans les trois départements alpins (04, 05, 06). La majorité des contacts ont été enregistrés à une altitude supérieure à mille mètres lors de captures au filet. Bien qu'il soit présent sur l'ensemble du territoire français, il est notablement absent le long de la Méditerranée (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016). En raison de ses affinités pour les environnements montagnards et forestiers, l'espèce est peu menacée dans ses terrains de chasse. Cependant, il existe des signes de manque de prospection ou de gîtes forestiers naturels, car ses sites connus de mise bas sont principalement localisés dans des bâtiments (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016).

Pour sa conservation, il serait bénéfique de préserver les bâtiments en créant des refuges conventionnés (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016) ou de maintenir des îlots de vieux arbres à cavités, de préférence feuillus, à moins de cinq-cents mètres des gîtes (Tillon, 2008).

3.3.7 OREILLARD MONTAGNARD, *PLECOTUS MACROBULLARIS* (KUZJAKIN, 1965)

Cette espèce eurasiatique n'est que nouvellement décrite au sein du paysage français et elle a notamment été contacté uniquement au sein des massifs montagneux tels que les Alpes, les Pyrénées et en Corse (Tillon, 2008 ; Alberdi *et al.*, 2012). La difficulté de distinction avec ses confrères oreillards gris et roux est considérable en termes de physionomie et d'acoustique. Les trois sont mêmes capables de s'établir en colonies mixtes ce qui ajoute à la méconnaissance de cette espèce. L'Oreillard montagnard fait partie de la guilde des chauves-souris forestières glaneuses (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016).

Plus récemment en PACA, il a été contacté depuis les forêts d'altitudes du Mercantour (Barataud, 2013) à des forêts méditerranéennes. Il est aussi à noter qu'il peut être présent autour de prairies et des réseaux de haies (Barataud, 2014). C'est aussi une espèce dépendante au bâtis ce qui l'expose aux travaux de restaurations et d'entretien ce qui peut conduire à la désertion des gîtes (Dietz & Kiefer, 2015).

Actuellement, il existe encore trop peu d'informations qui permettraient d'orienter la gestion à sa préservation à cause de connaissances trop lacunaires à l'échelle régionale mais aussi locale (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016).

TABLEAU 2 SYNTHÈSE DU DESCRIPTIF DES ESPÈCES TRAITÉS DANS CE TRAVAIL

Nom Commun	Nom Scientifique	Distribution en France	Habitat	Menaces	Mesures de conservation	Enjeu de conservation régional (PACA)	Directive Habitats Faune/Flore
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteini</i> (Kuhl, 1818)	Présent, mais plutôt rare en région méditerranéenne	Forêts feuillues, humides, bien structurées	Gestion forestière inadaptée, suppression des arbres morts	Maintien des arbres feuillus vieillissants, évitement des coupes à blanc	Très fort	Annexes II et IV
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i> (Schreber, 1774)	Présent, mais en régression dans le Nord	Forêts, zones à forte couverture forestière	Gestion forestière inadaptée, forêts jeunes et monocultures	Préservation des arbres foudroyés, maintien des habitats pour papillons de nuit	Très fort	Annexes II et IV
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i> (Kuhl, 1817)	Présent	Forêts mixtes et humides, forêts de conifères	Inconnues	Maintien d'un sous-étage dense de divers feuillus	Faible	Annexes IV
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i> (Kuhl, 1817)	Présent	Proximité des cours d'eau, forêts	Qualité de l'eau, perte des vieux arbres	Préservation des vieux arbres près des plans d'eau	Faible	Annexes IV
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i> (Keyserling & Blasius, 1839)	Principalement présent sur la côte ouest.	Zones humides, lisières forestières	Dégradation des zones humides, des ripisylves	Évitement des coupes à blanc, préservation des zones humides	Modéré	Annexes IV
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i> (Linnaeus, 1758)	Présent, en PACA surtout dans les départements alpins.	Forêts, proximité des bâtiments	Perte des abris forestiers, rénovations de vieux bâtiments	Préservation des bâtiments, maintenir les vieux arbres à moins de cinq-cents mètres des abris	Faible	Annexes IV
Oreillard montagnard	<i>Plecotus macbullaris</i> (Kusjakin, 1965)	Présent dans les Alpes, Pyrénées et la Corse.	Forêts de montagne, autour des prairies et des haies	Manque de données, potentiellement la rénovation de vieux bâtiments	Données insuffisantes pour des mesures spécifiques	Modéré	Annexes IV

4 MATÉRIEL ET MÉTHODE

4.1 MODÉLISATION

4.1.1 DBCHIROGCP

Les données utilisées pour la modélisation sont extraites de la base de données du GCP, appelée DBchiroGCP. Cette base de données recueille les observations actualisées des chiroptères, obtenues à travers des méthodes telles que le relevé acoustique, le repérage visuel ou la télémétrie. Pour ce travail, seules les espèces considérées comme forestières et présentant plus de cinquante points de localisation différents ont été retenues. Il est important de noter que les données d'occurrences proviennent uniquement des périodes d'estivage, car durant cette période, les espèces de chauves-souris retenues sont supposées rester proches de leurs gîtes. La période d'estivage met donc en lumière leur caractère forestier dans le choix des gîtes tandis que l'hiver les chauves-souris sont plus plastiques et affectionnent davantage les milieux souterrains. Une fois ces points extraits de la base de données, ils sont formater et standardiser à l'aide du logiciel R. Enfin, les coordonnées sont projetées dans le système de projection de Lambert français 93 (EPSG : 2154), et les quelques points situés en dehors de la délimitation de la région PACA ont été supprimés.

4.1.2 LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

4.1.2.1 LES COUCHES TESTÉES À L'ÉCHELLE DE LA PACA

Lors de la modélisation de la répartition des espèces, il a été crucial de sélectionner les facteurs environnementaux. Malgré une première exploration de divers facteurs tels que la distance aux réserves et parcs naturels, l'utilisation de certaines couches de la plateforme Copernicus, ou encore l'ensemble des variables bioclimatiques disponibles par WorldClim, il est devenu évident qu'il était essentiel de se concentrer sur un nombre limité de variables spécifiques. Cela permet tout d'abord de simplifier le modèle et son interprétation, puis d'assurer la pertinence en fonction de l'étendue du terrain à analyser et du nombre de points d'occurrence disponibles par espèce. Ainsi, l'étude s'est focalisée sur les facteurs environnementaux présents dans le *Tableau 3*.

TABLEAU 3 LISTE DES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

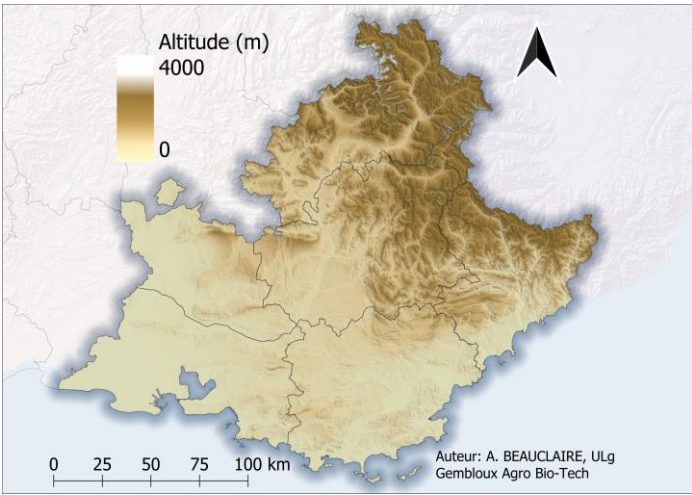
CARTE DU FACTEUR	DESCRIPTION
 <p>ALTIITUDE</p> <p>Altitude (m) 4000 0</p> <p>0 25 50 75 100 km</p> <p>Auteur: A. BEAUCLAIRE, ULg Gembloux Agro Bio-Tech</p>	<p>Le premier facteur environnemental réalisé est issue du paquet de données de BD ALTI® daté de 2023 à 2021. Il s'agit des modèles numériques de terrain maillés avec des pas de 25m, 75m et 250m, décrivant la forme et l'altitude normale de la surface du sol. Ces modèles sont conçus pour une utilisation à des échelles comprises entre 1:70 000 et 1:700 000. Les dalles sont fournies par paquets et par départements, et un travail de recoupe et de fusion a été effectué pour obtenir un MNT à l'échelle de la PACA. L'altitude est exprimée en mètre (<i>Figure 6</i>).</p>

FIGURE 6 CARTE DU MODÈLE NUMÉRIQUE DE TERRAIN DE LA PACA

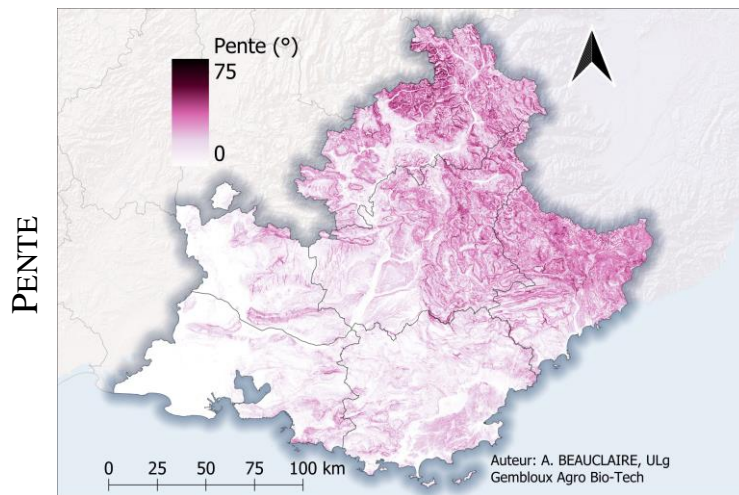


FIGURE 7 CARTE DES PENTES DE LA PACA

Ce deuxième facteur environnemental est dérivé de l'outil "Calcul de pente" de QGIS, utilisé sur le MNT de la PACA précédemment obtenu. Les valeurs de pente sont exprimées en degrés (Figure 7).

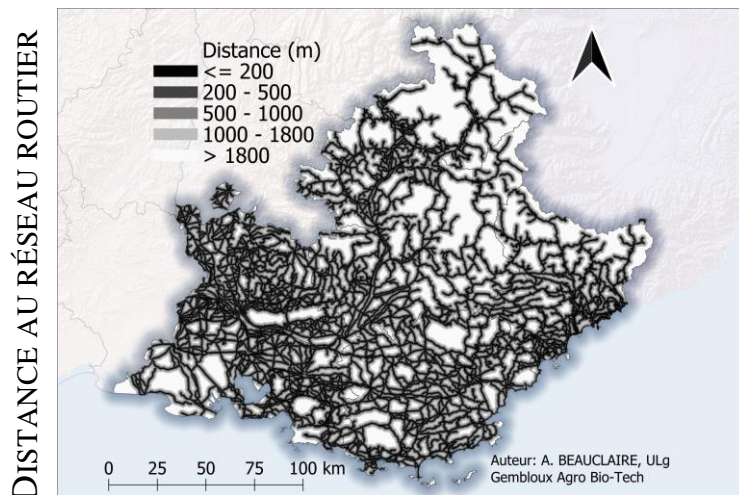


FIGURE 8 CARTE DE LA DISTANCE AU RÉSEAU ROUTIER EN PACA

Le réseau routier est extrait de BDCARTO® à partir des fichiers shapefile (shp) intitulés "routes numérotées et nommées" de chaque département. Ces couches vectorielles nécessitent donc un redécoupage et une fusion par QGIS pour obtenir le réseau complet de la PACA. Ensuite, la couche résultante est rasterisée avec unités géoréférencées avant de subir le traitement "Proximité (raster)" afin de générer un fichier raster indiquant la distance euclidienne par rapport au réseau routier. La distance est calculée en mètre (Figure 8).

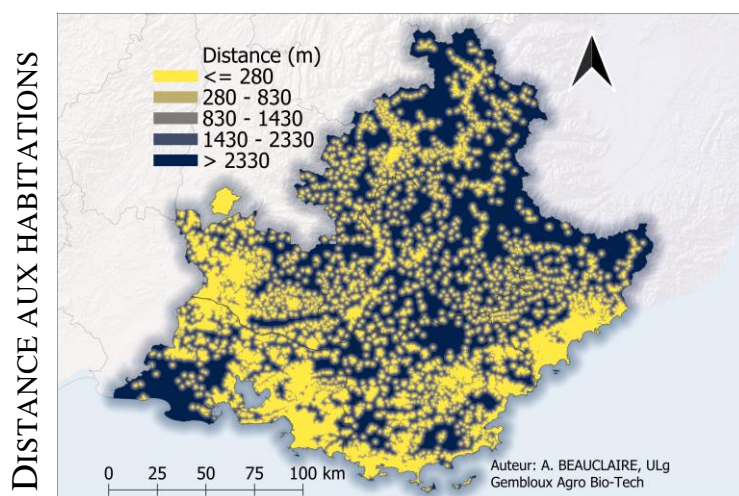


FIGURE 9 CARTE DE LA DISTANCE AUX HABITATIONS EN PACA

Le facteur de distance aux habitations est extrait de BDTOPO® à partir des fichiers shp intitulés "Zone D'Habitation" de chaque département. Ces couches vectorielles nécessitent donc un redécoupage et une fusion par QGIS pour obtenir le réseau complet de la PACA. Ensuite, la couche résultante est rasterisée avec unités géoréférencées avant de subir le traitement "Proximité (raster)" afin de générer un fichier raster indiquant la distance euclidienne par rapport aux zones d'habitations. La distance est calculée en mètre (Figure 9).

DISTANCE AUX FORÊTS FERMÉES

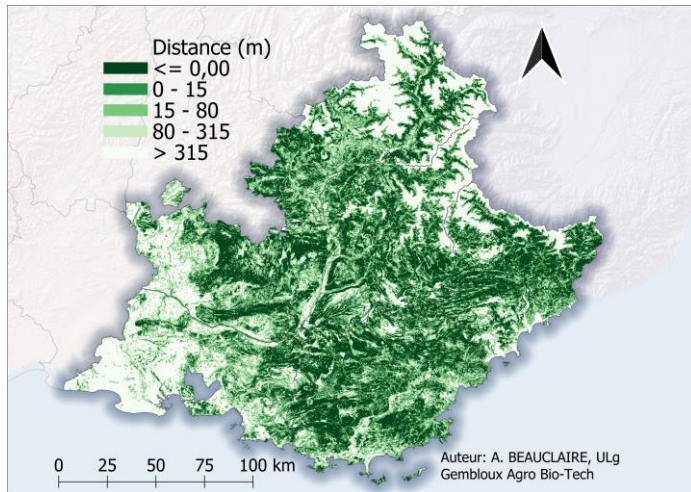


FIGURE 10 CARTE DE LA DISTANCE AUX FORÊTS FERMÉES EN PACA

À partir de BDFORET® V2, la couche vectorielle "Formation végétale" de chaque département a été utilisée pour extraire une couche vectorielle à l'échelle de la PACA représentant les forêts classées comme fermées. Ensuite, cette couche a été rastérisée et soumise au traitement "Proximité (raster)" pour créer un fichier raster indiquant la distance euclidienne par rapport aux forêts fermées. La distance est exprimée en mètres (Figure 10).

DISTANCE AUX FORÊTS OUVERTES

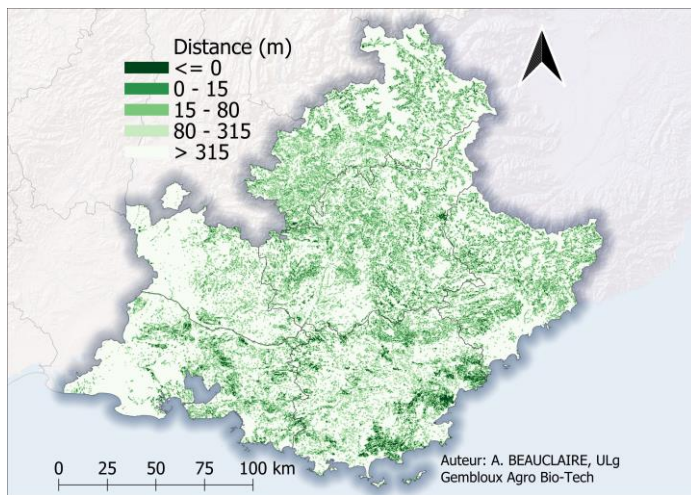


FIGURE 11 CARTE DE LA DISTANCE AUX FORÊTS OUVERTES EN PACA

À partir de BDFORET® V2, la couche vectorielle "Formation végétale" de chaque département a été utilisée pour extraire une couche vectorielle à l'échelle de la PACA représentant les forêts classées comme ouvertes. Ensuite, cette couche a été rastérisée et soumise au traitement "Proximité (raster)" pour créer un fichier raster indiquant la distance euclidienne par rapport aux forêts ouvertes. La distance est exprimée en mètres (Figure 11).

SYLVOÉCORÉGIONS

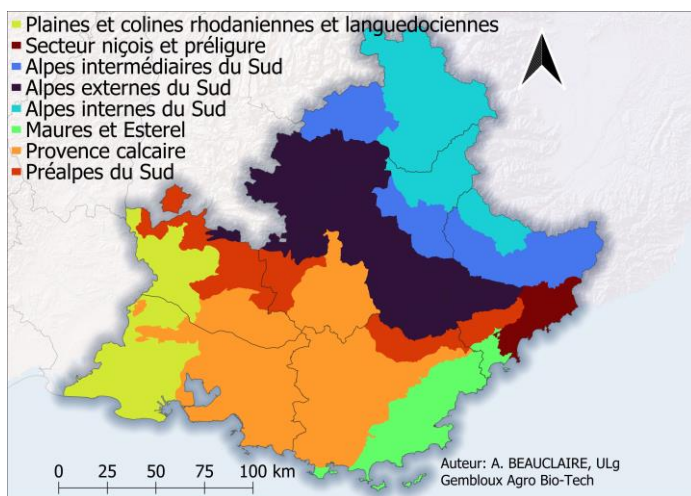


FIGURE 12 CARTE DES SYLVOÉCORÉGIONS DE LA PACA

Les sylvoécorigions sont obtenues à partir du travail de l'inventaire forestier et de l'IGN. Cette classification biogéographique est fournie à l'échelle de la France métropolitaine ainsi qu'au sein de ses territoires d'outre-mer. Une adaptation à l'échelle de la PACA a été effectuée, suivie d'une conversion en format raster. Il s'agit d'un facteur catégoriel (Figure 12).

DISTANCE AUX PLANS D'EAU PERMANENT

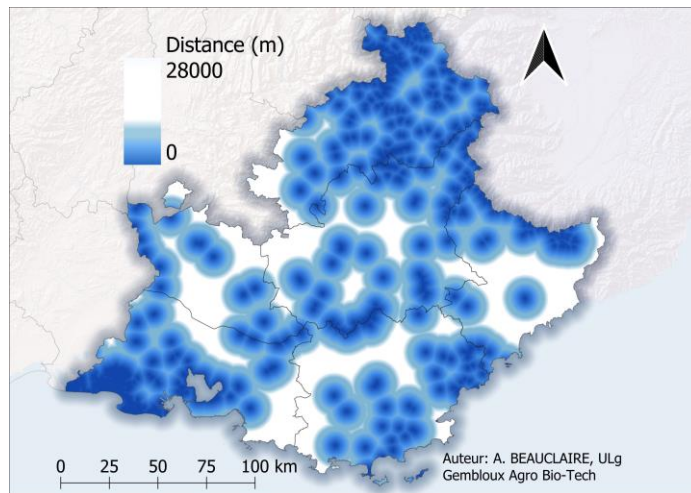


FIGURE 13 CARTE DE LA DISTANCE AUX PLANS D'EAU PERMANENT EN PACA

À partir de BDTOPO®, la couche vectorielle "Plan d'eau" de chaque département a été utilisée pour extraire une couche vectorielle à l'échelle de la PACA représentant les plans d'eau. Seuls les plans d'eau considérés comme "permanents", sélectionnés selon la table d'attributs associée, ont été inclus. Ensuite, cette couche a été rasterisée et soumise au traitement "Proximité (raster)" pour générer un fichier raster indiquant la distance euclidienne par rapport aux plans d'eau. Les distances sont exprimées en mètres (Figure 13).

DISTANCE AUX COURS D'EAU PERMANENT

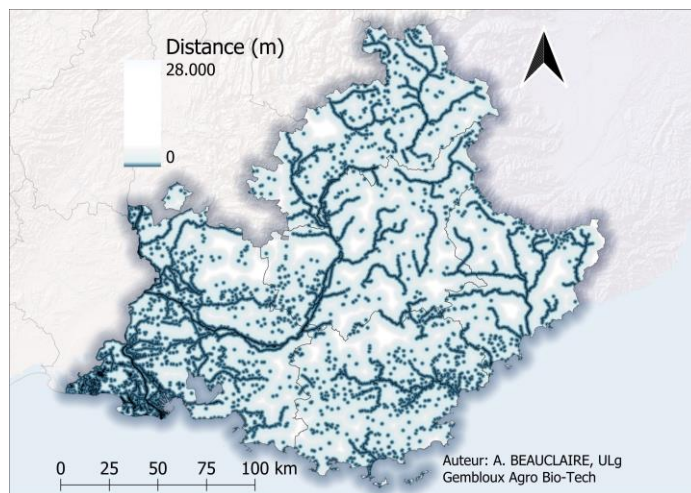


FIGURE 14 CARTE DE LA DISTANCE AUX COURS D'EAU PERMANENT DE LA PACA

À partir de BDTOPO®, la couche vectorielle "Surface hydrographique" de chaque département a été utilisée pour extraire une couche vectorielle à l'échelle de la PACA représentant les cours d'eau. Une sélection a été effectuée dans la table d'attributs pour ne conserver que les cours d'eau permanents, en excluant les plans d'eau. Ensuite, cette couche a été rasterisée et soumise au traitement "Proximité (raster)" pour générer un fichier raster indiquant la distance euclidienne par rapport aux cours d'eau. Les distances sont exprimées en mètres (Figure 14).

OCCUPATION DU SOL

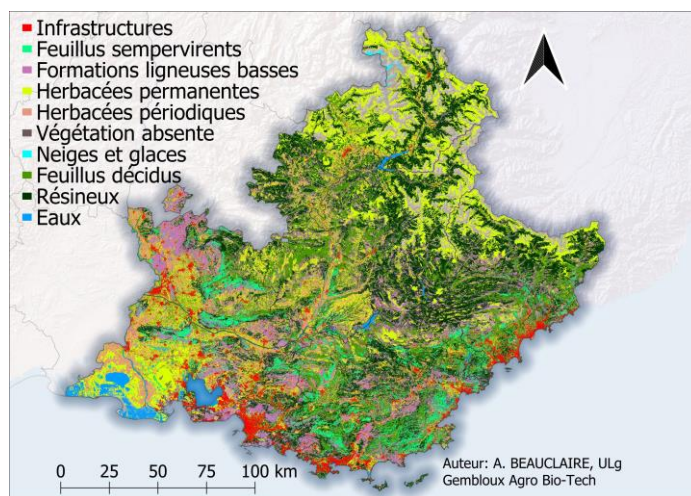
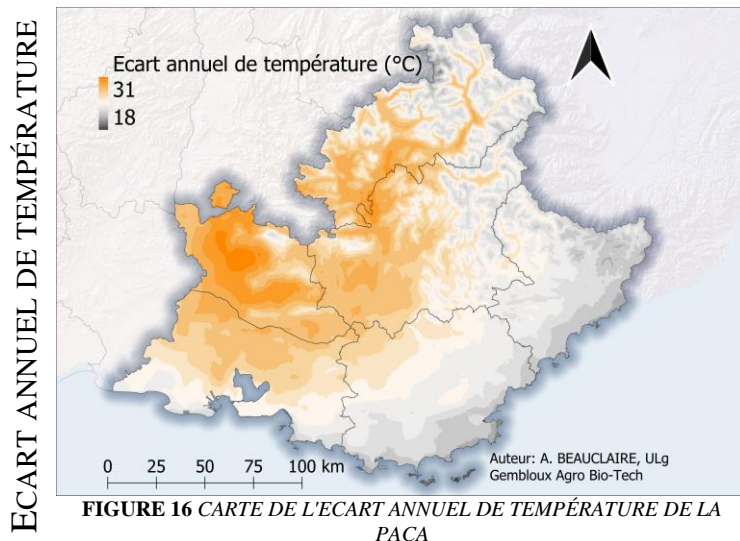


FIGURE 15 CARTE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA PACA

L'occupation du sol provient du produit CorineLandCover+ Backbone qui fournit une couche vectorielle détaillée pour toute l'Europe, avec dix-huit classes thématiques de base et un produit raster à résolution spatiale de 10m avec onze classes. La description de l'occupation du sol a été découpée à l'échelle de la PACA. Il est important de noter que certaines des onze classes ne sont pas très présentes dans la région, celle de la classe des lichens et mousses a donc été retiré de la classification. Il s'agit d'un facteur catégoriel (Figure 15).



Ce facteur provient de la plateforme WorldClim. C'est la variable BIO7, qui est découpée à l'échelle de la PACA. Elle représente l'écart annuel de température et elle est calculée en soustrayant la température minimale annuelle (BIO6) à la température maximale annuelle (BIO5) (Figure 16).

4.1.2.2 LE FORMATAGE

Le traitement appliqué aux couches des facteurs environnementaux, une fois collectés à l'échelle de la PACA sous format raster (TIF), suit un processus presque identique pour chaque couche dans R.

Dans un premier temps, l'emprise du projet a été définie en utilisant une couche vectorielle représentant la limite de la région PACA. Les couches raster des facteurs environnementaux ont été rééchantillonnées, au format ASCII et type de données INT2S, à la résolution spatiale de cinquante mètres et à la même étendue que celle de la région PACA. Cela a garanti la cohérence des données pour une analyse spatiale par MaxEnt.

Pour certains facteurs environnementaux, pour celles présentant des données catégorielles au format vectoriel, il a fallu au préalable les transformer en format raster. C'est le cas pour l'occupation du sol et les sylvoécórégions.

Les bibliothèques R utilisées étaient « sf » qui offrait des fonctionnalités pour la manipulation des données géospatiales, tandis que « terra » était utilisée pour le traitement des données raster. Celle « dplyr » a été employée pour la manipulation générale des données, et « raster » était spécifiquement dédiée à la manipulation et à l'analyse des données raster.

4.1.2.3 CORRÉLATIONS ENTRE FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Par la suite, les couches ont été évaluées à l'aide de la bibliothèque ENMTools. Les rasters ont été regroupés dans un objet de type "stack" et une matrice de corrélation a été construite, fournissant ainsi une vue d'ensemble des relations entre les différents facteurs environnementaux. Pour simplifier le modèle, toute corrélation supérieure à 0,7 ou inférieure à -0,7 a entraîné l'élimination d'une des deux couches corrélées de la modélisation comme préconisé par Dormann *et al.* (2013) (Figure 17).

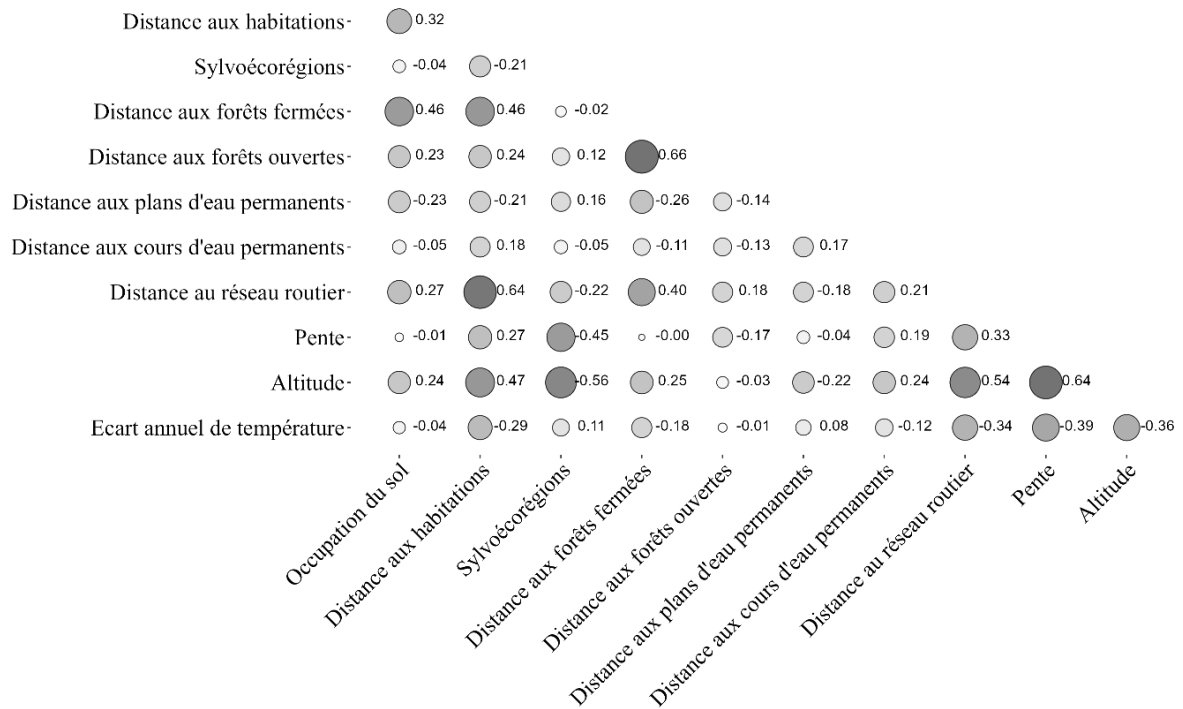


FIGURE 17 CORRÉLATION ENTRE LES FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX DES MODÉLISATIONS

4.1.2.4 ESTIMATION DE LA DENSITÉ DE PRÉSENCE ET SÉLECTION DES POINTS DE FOND

Dans le cadre de la modélisation de répartition des espèces avec MaxEnt, une estimation de la densité des points de présence a été effectuée pour produire une carte de densité des occurrences. Cette carte était ensuite convertie en raster et rééchantillonnée afin de correspondre à la résolution de cinquante mètres et à l'emprise de la PACA.

Des points de fond ont été échantillonnés à partir de l'environnement étudié, c'est-à-dire par rapport à l'emprise de la PACA. Ces points sont des emplacements aléatoires où l'espèce n'a pas été observée. Un nombre d'emplacement aléatoire défini à dix mille est sélectionné à partir des cellules non nulles, c'est-à-dire non manquantes, de la couche de densité de présence précédente.

4.1.2.5 GRILLE DE BIAIS

Pour corriger les biais d'échantillonnage, une couche de biais est créée à partir de cette carte de densité. Cette couche, aussi appelée grille de biais (Fourcade *et al.*, 2014), représente une surface de probabilité d'échantillonnage où les valeurs des cellules reflètent l'effort d'échantillonnage à travers la zone d'étude. L'objectif est de pondérer les données de fond aléatoires utilisées dans MaxEnt, afin de compenser les biais dus à une distribution non uniforme des efforts d'échantillonnage (Fourcade *et al.*, 2014). Les cartes de biais ainsi générées ont été intégrées dans l'option *biasfile* de MaxEnt pour améliorer la précision des prédictions en tenant compte de ces biais.

4.1.2.6 ÉVALUATION DES PARAMÉTRAGES DU MODÈLE PAR ENMEVAL

En utilisant la fonction ENMevaluate de la bibliothèque ENMeval, les différentes combinaison de paramétrages de modélisation MaxEnt d'une espèce étaient évalués en utilisant les facteurs environnementaux, les occurrences, les points de fond et la grille de biais. Ces paramètres sont la méthode de modélisation MaxEnt, six classes d'attributs (FC) de modélisation à tester ainsi que cinq multiplicateurs de

régularisation (RM). Ces éléments combinés permettent de définir un nombre de modèle à tester par R et à comparer entre eux. Le nombre de modèle est égale au nombre de RM multiplié par le nombre de classes d'attributs à tester. Le nombre total de combinaison de paramètres de modélisation à comparer par espèce était donc de trente. Les évaluations qui en découlent peuvent également se décrire comme l'exécution de plusieurs modèles MaxEnt avec des paramétrages différents, puis qui sont comparés les uns des autres et triés notamment selon leur simplicité, c'est-à-dire s'ils sont proches des présences initiales mais aussi de leur ajustement par rapport à la répartition.

Pour aller plus en détails, la méthode d'évaluation choisie était celle de *random-k-fold*, elle partitionnait aléatoirement les occurrences de l'espèce en un nombre spécifié par l'utilisateur de groupes k. Un nombre k de dix a été choisi, un seul de ces dix groupes est utilisé pour établir un modèle MaxEnt selon une des trente combinaisons de paramètres définit par la fonction ENMevaluate. Puis, les neuf autres sont utilisés pour tester celui-ci (Fielding & Bell, 1997). Les trente combinaisons de paramètres étaient donc réalisées indépendamment de cette manière pour chaque espèces, puis elles étaient triés entre-elles selon leur Critère d'Information d'Akaike corrigé (AICc).

L'ajustement par rapport aux données d'occurrence et la complexité d'une combinaison de paramètres se reflètent à travers sa valeur AICc. La combinaison avec la valeur AICc la plus basse est considéré comme le meilleur modèle parmi l'ensemble des trente combinaisons de paramètres évaluées pour chaque espèces. Le $\Delta AICc$ est une manière d'ordonnées les paramétrages possibles du modèle ; tous les modèles avec $\Delta AICc < 2$ sont généralement considérés comme ayant un soutien identique. (Burnham & Anderson (2004), Warren & Seifert (2011)). L'AICc pénalise les modèles plus complexes afin de prévenir le surapprentissage et privilégie les modèles plus simples. Ainsi, la combinaison de paramètres permettant d'obtenir un AICc des plus bas par espèce était sélectionné.

Les classes d'attributs (FC) déterminent la forme des courbes de réponse aux facteurs environnementaux. Les différentes combinaisons testées étaient "L", "LQ", "H", "LQH", "LQHP", "LQHPT". Les lettres L, Q, P, H, et T désignent respectivement les attributs linéaire, quadratique, produit, charnières, et seuil. Chacun définissent la manière dont les facteurs environnementaux influent sur les prédictions d'occurrence des espèces. Le modèle à attribut linéaire (L) suppose une relation linéaire entre les facteurs environnementaux et la probabilité d'occurrence de l'espèce. Les études, comme celles de Guisan et Zimmermann (2000), montrent que les modèles linéaires peuvent capturer des relations simples mais peuvent être limités lorsqu'il y a des effets non linéaires importants. Le modèle à attribut quadratique (Q) introduit une relation quadratique, permettant de capturer des effets des facteurs environnementaux non linéaires par des courbes paraboliques. Le modèle à attribut produit (P) introduit des interactions entre les facteurs environnementaux, ce qui est pour capturer des effets complexes d'interaction entre différentes variables. Le modèle à attribut charnière (H) utilise des fonctions de réponse avec des points de charnière, permettant de modéliser des changements soudains dans la relation entre les variables environnementales et la probabilité d'occurrence. Le modèle à attribut seuil (T) introduit des seuils au-delà desquels la probabilité d'occurrence change brusquement.

Le multiplicateur de régularisation (RM) détermine la pénalité associée à l'inclusion des variables ou de leurs transformations dans le modèle, les valeurs testées sont 1, 2, 3, 4 et 5. Des valeurs de RM plus élevées imposent une pénalité plus forte sur la complexité du modèle et donc résultent en des prédictions de modèle plus simples (plus proches des occurrences initiales).

Pour une vision plus synthétique de l'évaluation de MaxEnt par ENMeval, la *Figure 18* en fait la synthèse

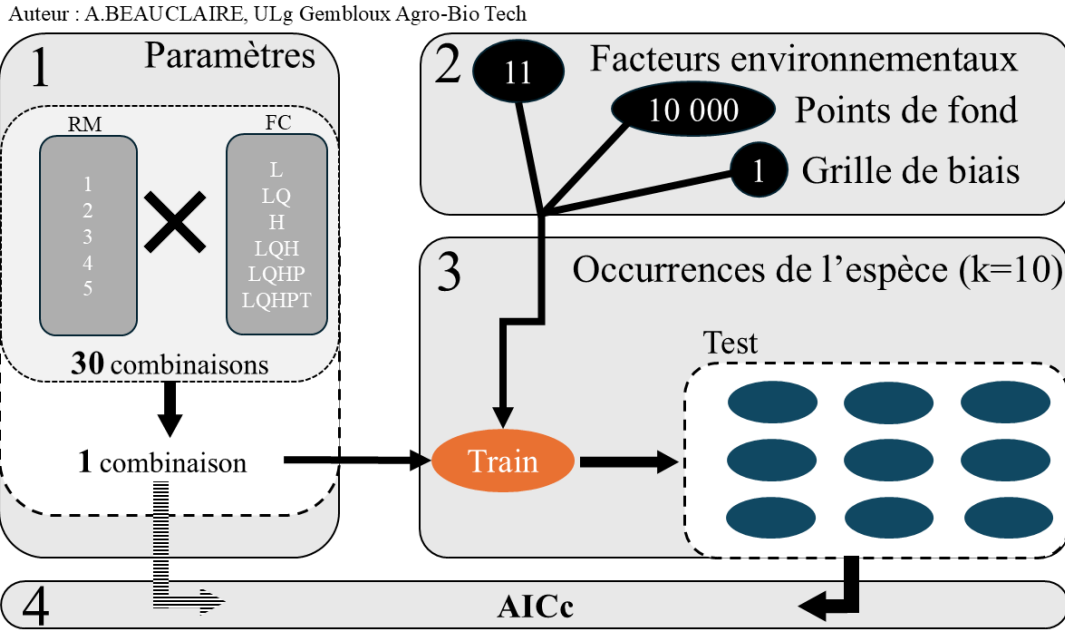
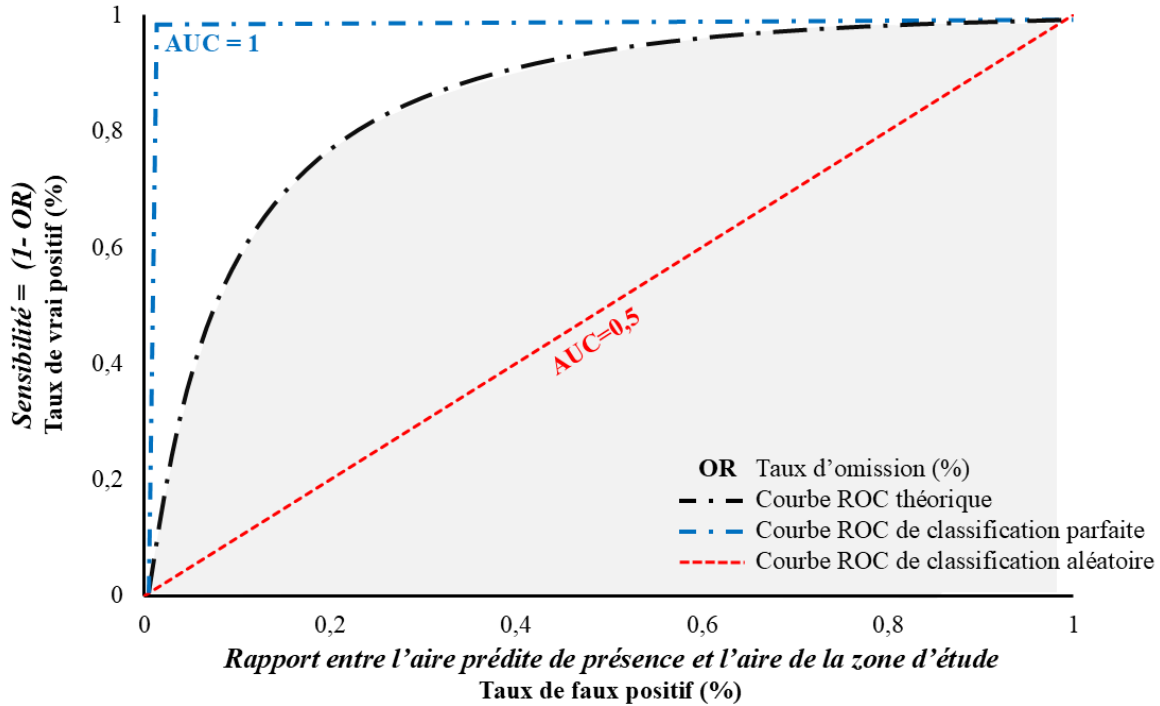


FIGURE 18 EVALUATION DES COMBINAISONS DE PARAMÈTRES MAXENT

4.1.2.7 INDICATEURS DE PERFORMANCES

Une fois le meilleur paramétrage de modèle sélectionné pour chaque espèce, il a été décidé de réaliser dix répétitions de ces modélisations afin d'en extraire notamment les caractéristiques pouvant servir d'indicateurs de performance.

Premièrement, l'AUC (*Area Under the Curve*) est une mesure utilisée pour évaluer la qualité du modèle en termes de sa capacité à discriminer les présences et les absences de l'espèce. Plus précisément, l'AUC représente l'aire sous la courbe ROC (*Receiver Operating Characteristic*) du modèle. La courbe ROC est une représentation graphique qui trace le taux de vrais positifs (sensibilité) selon le taux de faux positifs. Elle illustre ainsi la performance du modèle à différents niveaux de discrimination (*Figure 19*). Il fait intervenir la notion de taux de vrai positif en ordonnée, aussi nommé sensibilité. Il correspond au pourcentage de points d'occurrence imputé au modèle qui se retrouvent véritablement dans l'aire de prédiction d'occurrence MaxEnt. La courbe ROC fait également intervenir la notion de taux faux positif en abscisse. Dans MaxEnt, le taux de faux positifs représente le rapport entre l'aire prédite d'occurrence et l'aire totale de la zone d'étude. Dans ce cas, l'aire totale correspond à la PACA. Plus le taux de faux positif augmente, plus l'aire de prédiction est grande. Ainsi la notion de faux positif n'est pas traditionnelle dans MaxEnt, elle part de l'hypothèse que plus l'aire prédite sera grande, plus des données d'absences seront considérés comme de la présence pour le modèle. Une modélisation parfaite aurait donc une sensibilité de 1 pour un taux de faux positif de 0. En effet, quand on est proche de la valeur de 0 sur l'axe des abscisses, la zone de prédiction devient plus spécifique et donc plus restreinte et précise. L'AUC, qui représente l'aire sous la courbe, oscille entre 0 et 1. Une AUC de 1 correspond à une capacité de discrimination parfaite, où le modèle différencie sans erreur les présences et les absences de l'espèce. Une AUC de 0,5 indique que le modèle n'a aucune capacité à distinguer les classes, se comportant comme un choix aléatoire. Enfin, une AUC inférieure à 0,5 suggère que le modèle est moins performant que le hasard, ce qui est inhabituel et peut révéler un problème avec le modèle ou les données.



Auteur : A.BEAUCLAIRE, ULg Gembloux Agro-Bio Tech

FIGURE 19 PRINCIPE DE L'AUC ILLUSTRÉ AVEC LA COURBE ROC

Avec MaxEnt, plusieurs AUC sont calculées au cours de dix réplifications, chacune comprenant mille itérations. L'AUC appelée "AUC Train" correspond à celle du modèle d'entraînement initial. Ce modèle est élaboré à partir d'un ensemble aléatoire de points de présence, en utilisant le même principe que pour l'évaluation des combinaisons de paramètres. Les points de présence restants servent à tester ce modèle d'entraînement, ce qui permet de calculer l'AUC Test. Ces étapes sont répétées pour chaque réplification, et après dix réplifications, les moyennes des AUC Train et AUC Test sont calculées et utilisées.

La différence entre ces deux AUC est désignée par AUC Diff. Seule la valeur de l'AUC Diff est positivement associée au degré de surapprentissage du modèle (Warren & Seifert, 2011) et non l'AUC Test ou l'AUC Train (Hanley & McNeil, 1982; Peterson *et al.*, 2011). Cela souligne l'importance de réaliser plusieurs réplifications du modèle.

$$AUC_{diff} = AUC_{train} - AUC_{test} = \text{Surapprentissage}$$

Ensuite, un autre indicateur est celui du taux d'omission de présence minimale en entraînement (OR_{mtp}). Il indique la proportion au cours des dix réplifications qui ont eu des probabilités d'occurrence plus basses que celles du modèle d'entraînement. Les taux d'omission supérieurs à zéro indiquent généralement la tendance au surapprentissage du modèle (Fielding & Bell (1997), Peterson *et al.* (2011), Radosavljevic & Anderson (2014)).

Après cet indicateur, celui du taux d'omission de 10% en entraînement (OR₁₀) est une mesure qui est construite sur le même calcul que l'OR_{mtp} à une subtilité près. L'OR₁₀ exclue 10% du modèle d'entraînement, plus précisément les zones ayant des taux d'occurrence les plus faibles. Avec cet indicateur, les taux d'omission, OR₁₀, supérieurs à 10% indiquent la tendance au surapprentissage du modèle (Fielding & Bell (1997), Peterson *et al.* (2011)).

Ensemble, ces valeurs permettent de garder un œil critique sur le résultat des modèles sélectionnées, surtout en regard du surapprentissage puisque celui-ci se peut se produire lorsqu'on essaie d'estimer un trop grand

nombre de paramètres à partir d'un échantillon de taille insuffisante. Pour rappel, le surapprentissage se produit lorsqu'un modèle statistique ou un algorithme apprend non seulement les tendances générales des données d'entraînement, mais aussi les détails spécifiques, y compris le bruit ou les fluctuations aléatoires qui ne représentent pas une véritable tendance. Cela conduit à un modèle qui a une performance excellente sur les données d'entraînement, mais qui est médiocre avec les nouvelles données. Ce phénomène constitue un risque réel dans l'analyse statistique. En cas de surapprentissage, la répartition prédite perd ainsi de sa représentativité pour l'espèce générale.

4.1.3 LE GAIN DANS MAXENT

Pour rappel, avec l'utilisation de MaxEnt, il est important de comprendre la notion de gain. Celle-ci correspond à la probabilité logarithmique moyenne de présence. Par exemple, si le gain est de 2, cela signifie que la probabilité moyenne des échantillons de présence est $e^2 \approx 7,4$ fois plus élevée que celle d'un pixel de fond aléatoire. Il est donc à noter que MaxEnt ne calcule pas directement la "probabilité de présence". La probabilité qu'il attribue à chaque pixel est généralement très faible, car les valeurs doivent se sommer à 1 sur tous les pixels de la grille. (Phillips, S. J. (2017)).

4.1.4 LES RÉPONSES AUX FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

À l'issue de la modélisation pour chaque espèce, les apports des facteurs environnementaux à la construction de leur modèle de répartition sont estimés selon deux approches.

La première est calculée au cours des mille itérations du modèle d'entraînement. Il s'agit du pourcentage de contribution : dans chaque itération du modèle d'entraînement, la contribution des facteurs environnementaux à l'augmentation du gain du modèle est prise en compte sous forme de pourcentage.

La deuxième est calculée au cours des dix répliques du modèle, il s'agit d'un test *jackknife* : validation croisée où le modèle est divisé en sous-ensembles plus petits. Pour chaque sous-ensemble, le modèle d'entraînement est recalculé en excluant un seul facteur environnemental à la fois. Cela permet d'évaluer l'impact de chaque facteur sur le gain du modèle lorsqu'il est utilisé seul ou bien avec les autres dans la construction du modèle. En répétant ce processus pour chaque facteur environnemental, on obtient une série d'estimations qui permettent de conclure que :

- › Le facteur environnemental ayant le gain le plus élevé lorsqu'il est utilisé seul détient les informations les plus pertinentes par lui-même.
- › Le facteur environnemental qui diminue le plus le gain lorsqu'il est omis apporte des informations significatives absentes dans les autres facteurs.

4.2 TÉLÉMÉTRIE DE GÉMENOS

La télémétrie de Gémenos s'est déroulée du 1er juillet 2024 au 11 juillet 2024. La zone d'étude a été délimitée par un rayon de cinq kilomètres autour des gîtes initiaux conformément aux études antérieures sur le domaine vital des Murin de Bechstein menées dans cette région (Beguier, 2015 ; Bonnot, 2017). Durant la période d'étude, deux nuits ont été consacrées à la capture d'individus ainsi que quatre soirées au comptage en sortie de gîte. Cette télémétrie faisait notamment appel à des bénévoles.

4.2.1 LA CAPTURE DES INDIVIDUS

Deux dispositifs de capture ont été montés près des gîtes connus des Murin de Bechstein, à la Chapelle Saint-Martin et à l'Abbaye de Saint-Pons. Ces plans de montage sont schématisés en Annexe B selon leur lettre respective, A et B (Figure 20). Plus tard, lors de la session de télémétrie, un nouveau gîte, le platane marqué B118 dans le parc, a servi de lieu pour la deuxième capture, au lieu C.

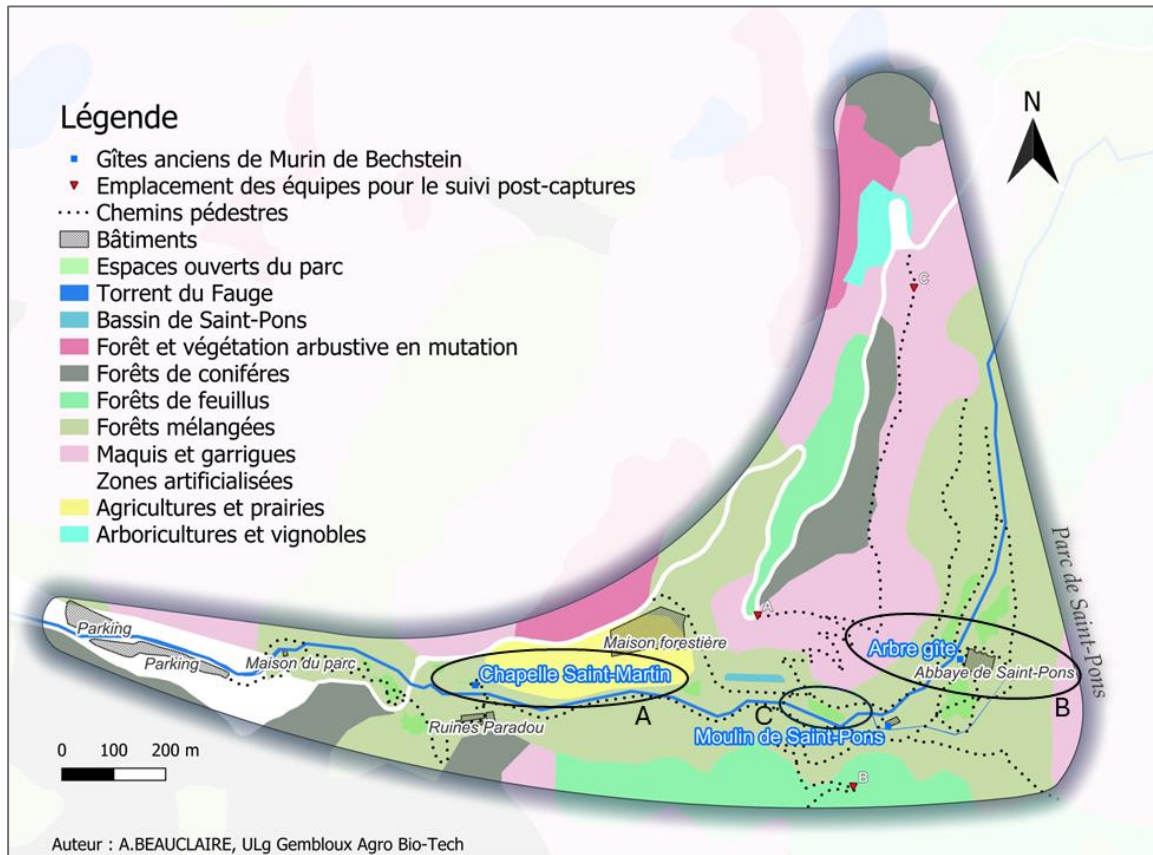


FIGURE 20 CARTE DE L'EMPLACEMENT DES ANCIENS GÎTES (AVANT 2024) ET DE L'EMPLACEMENT DES SITES DE CAPTURE SELON L'OCCUPATION DU SOL (OCSOL).

Sur le terrain, la capture consiste à hisser des filets japonais avec des mailles de un centimètre à l'aide de cannes et d'aubans, à proximité des sorties des gîtes connus ou perpendiculairement aux corridors empruntés par les chauves-souris. La largeur des filets japonais est choisie en fonction de l'emplacement prévu. Le système de montage est illustrée en Annexe C.

L'installation des filets se fait avant le coucher du soleil. Ensuite, l'équipe se retire du site de capture et attend la tombée de la nuit. Des rondes fréquentes toutes les dix minutes sont organisées pour alerter les personnes chargées de démailler les chauves-souris. Les chauves-souris capturées sont ensuite examinées et des mesures de biométrie sont effectuées. Seules les chauves-souris pouvant être équipées, dont le poids de l'émetteur collé sur leur dos ne dépasse pas 5% de leur poids total (O'Mara *et al.*, 2014), et pour lesquelles l'équipement

est pertinent pour l'étude, ont été équipées. En Annexe D, se trouve le descriptif biométrique de toutes les chauves-souris capturées et équipées.

Les émetteurs placés sur les individus sélectionnés sont de la marque Holohil Systems®, modèle BD-2X, spécialement conçus pour les Murin de Bechstein. Chaque émetteur pèse 0,31 g. Les émetteurs ont une durée de vie de sept jours. Après cette durée, ils s'éteignent ou se détachent des individus. Chaque chauve-souris suivie possède donc une fréquence unique à suivre pour le radiopistage.

4.2.2 SUIVI DES INDIVIDUS

Pour la télémétrie, divers équipements ont été utilisés. Les récepteurs Australis ont servi à capter les signaux des émetteurs fixés sur les chauves-souris. Des antennes directionnelles, composées de trois ou quatre éléments, ont été employées pour localiser précisément les émetteurs, tandis que des antennes de toit omnidirectionnelles, montées sur les véhicules, ont permis une détection à grande échelle. Des compas de relèvements ont été utilisés pour déterminer les azimuts des signaux. La communication entre les équipes sur le terrain a été assurée par des talkies-walkies. Enfin, des rapporteurs et des cartes IGN ont été utilisés pour la cartographie et l'orientation.

Le suivi télémétrique a été effectué quotidiennement pour déterminer la position des chauves-souris équipées d'émetteurs. En cas de déplacement des chauves-souris entre deux journées, les équipes se répartissaient dans différentes zones en altitude et notamment sur des points hauts pour localiser le nouvel emplacement du signal et le trianguler. Étant donné que les chauves-souris ne se déplacent pas pendant la journée, la triangulation pouvait être réalisée de manière asynchrone, ce qui permettait à une équipe réduite de mener l'étude avec une seule antenne par localisation. Les véhicules équipés de récepteurs Australis et d'antennes omnidirectionnelles permettaient de détecter les signaux dans un rayon d'environ un kilomètre. Une fois un signal capté, les équipes suivaient la chauve-souris tout au long de la journée pour confirmer l'emplacement du gîte.

Pour les individus localisés dans des emplacements inconnus pendant plusieurs jours, des suivis nocturnes étaient effectués. Au début de la nuit, les chauves-souris sortent généralement et restent proches de leur gîte, ce qui facilite leur localisation. Des comptages en sortie de gîte ont été effectués certains soirs pour estimer le nombre d'individus présents et de suivre les déplacements sociaux des individus entre différents gîtes.

4.2.3 DESCRIPTION DES GÎTES

Lorsqu'un nouvel arbre-gîte était découvert, une fiche d'arbre-gîte pour chauves-souris arboricole de l'enquête nationale de France était remplie.

5 RÉSULTATS

5.1 MODÉLISATION

5.1.1 CARACTÉRISTIQUES DES MODÈLES RETENUS

Le *Tableau 3* ainsi que la *Figure 21* présentent une synthèse des caractéristiques des modèles retenus ayant l'AICc le plus bas pour chaque évaluation de combinaison de paramètres pour chaque espèce.

TABLEAU 4 SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DES MODÈLES MAXENT RETENUS

Espèces	Nombre d'occurrences	FC ¹	RM ²	AUC Train ³	AUC Test ⁴	AUC Diff ⁵	OR mtp ⁶	OR 10 ⁷	Test Gain ⁸
Barbastelle d'Europe	187	H	2	0,839	0,777	0,062	0,011	0,121	0,637
Murin de Bechstein	206	L	1	0,814	0,741	0,073	0,033	0,131	0,718
Murin de Natterer	531	LQHP	2	0,795	0,764	0,031	0,004	0,126	0,451
Pipistrelle de Nathusius	447	LQPT	2	0,761	0,714	0,046	0,006	0,149	0,360
Oreillard roux	181	H	2	0,864	0,812	0,052	0,013	0,144	0,776
Oreillard montagnard	60	LQHP	4	0,899	0,800	0,099	0,126	0,273	0,990
Murin de Daubenton	634	LQPT	1	0,854	0,830	0,024	0,008	0,126	0,920

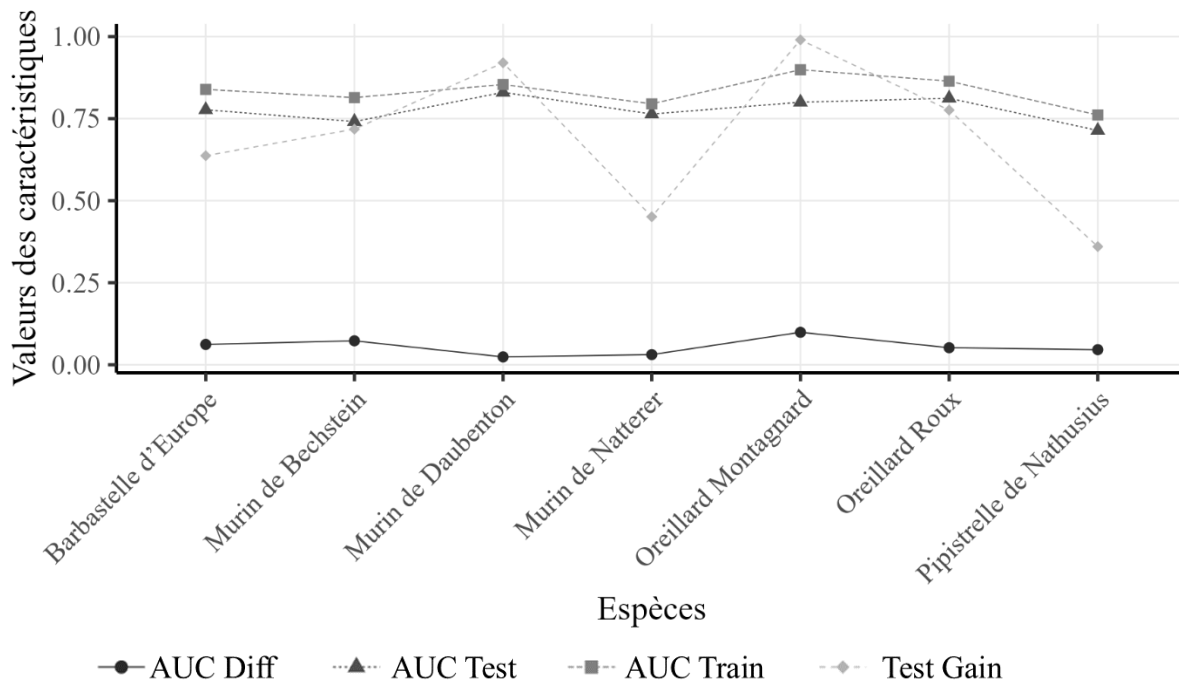


FIGURE 21 COMPARAISON DES INDICATEURS AUC ET TEST GAIN DES MODÈLES

¹ Classes d'attribut

³ Moyenne des aires sous la courbe ROC du modèle d'entraînement après dix réplifications

⁵ Différence entre AUC Train et AUC Test

⁷ Taux d'omission de présence minimale en entraînement

² Multiplicateur de régularisation

⁴ Moyenne des aires sous la courbe ROC des données de présence test (cf. 4.1.2.7) après dix réplifications

⁶ Taux d'omission de présence minimale en entraînement

⁸ Taux d'omission de 10% en entraînement

5.1.2 CARTES ET STATISTIQUES

Les résultats des modélisations sont présentés sous forme de fiches pour chaque espèce de chiroptère, avec quatre cadres distincts, notés de A à D. Dans le cadre A se trouve une carte illustrant les probabilités d'occurrence de l'espèce dans la région PACA. Le cadre B contient un graphique indiquant le pourcentage de contribution des différents facteurs à la modélisation. Dans le cadre C, les résultats du test *jackknife* sont exposés, soit en considérant uniquement le facteur en question, soit en l'excluant. Sur ce graphe, une ligne verticale en pointillés indique le gain du modèle affiché. Enfin, le cadre D présente les courbes de réponse de la modélisation aux différents facteurs. Il est à noter que ces courbes reflètent la combinaison de tous les facteurs considérés ensemble. Pour les facteurs environnementaux catégoriels, les réponses se lisent au travers de histogrammes dont les valeurs chiffrées de l'abscisse renvoient à des catégories. Pour le facteur des sylvoécorégions, les valeurs 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 sont respectivement : les Alpes externes du Sud ; les Alpes intermédiaires du Sud ; les Alpes internes du Sud ; les Maures et l'Esterel ; les plaines et collines rhodaniennes et languedociennes ; la Provence calcaire ; les Préalpes du Sud ; le secteur niçois et pré-ligure. Pour le facteur de l'occupation du sol, les valeurs de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11 sont respectivement : les infrastructures ; les résineux ; les feuillus décidus ; les feuillus sempervirents ; les formations ligneuses basses ; les herbacées permanentes ; les herbacées périodiques ; la végétation absente ; les eaux ; les neiges et glaces.

5.1.2.1 LA BARBASTELLE D'EUROPE

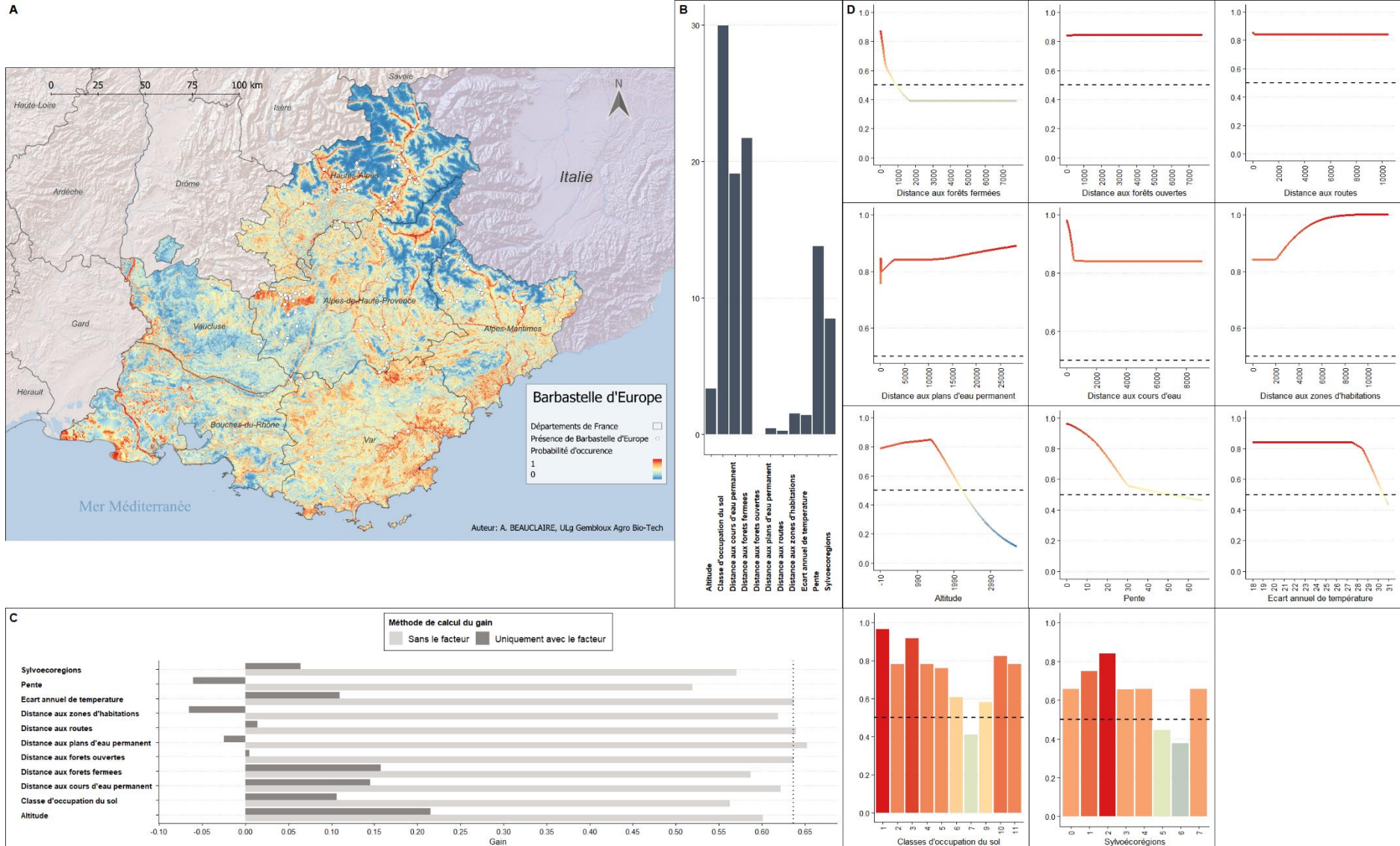


FIGURE 22 MODÉLISATION DE LA RÉPARTITION DE LA BARBASTELLE D'EUROPE (MAXENT) CADRE A : CARTE DE RÉPARTITION CADRE B : CONTRIBUTION DES FACTEURS CADRE C : TEST JACKKNIFE CADRE D : COURBES DE RÉPONSES DE LA RÉPARTITION AUX FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

5.1.2.2 LE MURIN DE BECHSTEIN

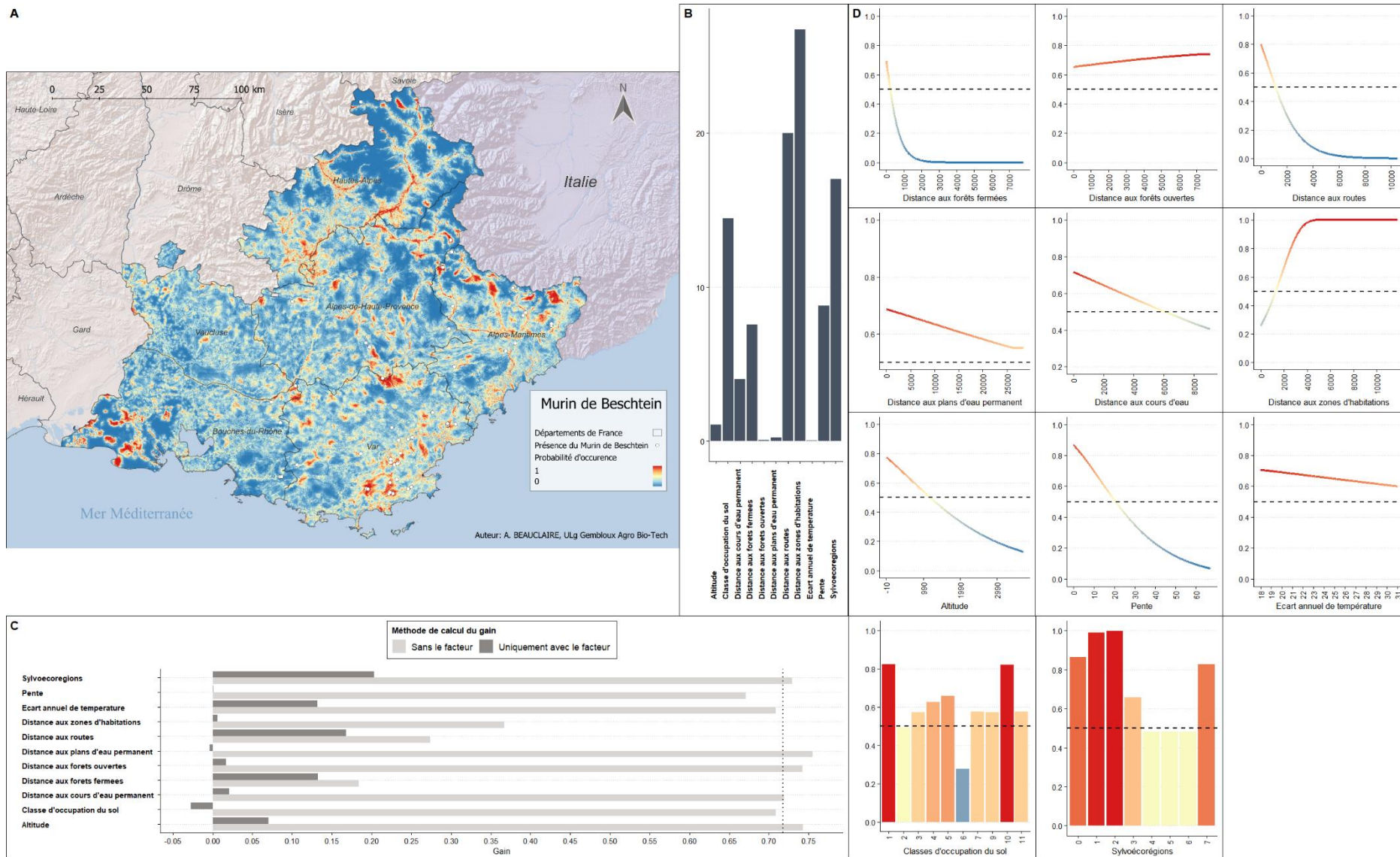


FIGURE 23 MODÉLISATION DE LA RÉPARTITION DU MURIN DE BECHSTEIN (MAXENT) CADRE A : CARTE DE RÉPARTITION CADRE B : CONTRIBUTION DES FACTEURS CADRE C : TEST JACKKNIFE CADRE D : COURBES DE RÉPONSES DE LA RÉPARTITION AUX FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

5.1.2.3 LE MURIN DE NATTERER

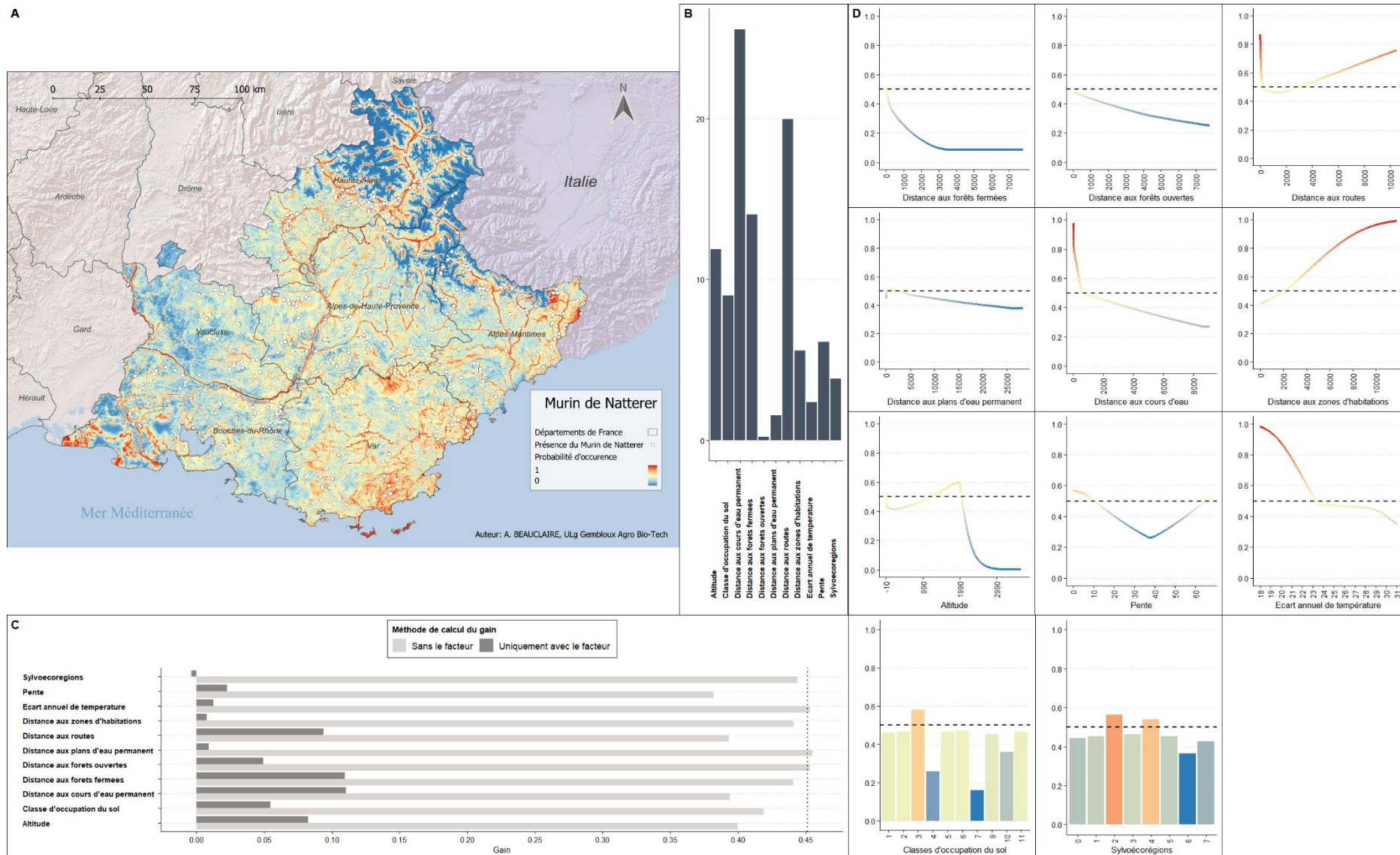


FIGURE 24 MODÉLISATION DE LA RÉPARTITION DU MURIN DE NATTERER (MAXENT) **CADRE A** : CARTE DE RÉPARTITION **CADRE B** : CONTRIBUTION DES FACTEURS **CADRE C** : TEST JACKKNIFE **CADRE D** : COURBES DE RÉPONSES DE LA RÉPARTITION AUX FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

5.1.2.4 LE MURIN DE DAUBENTON

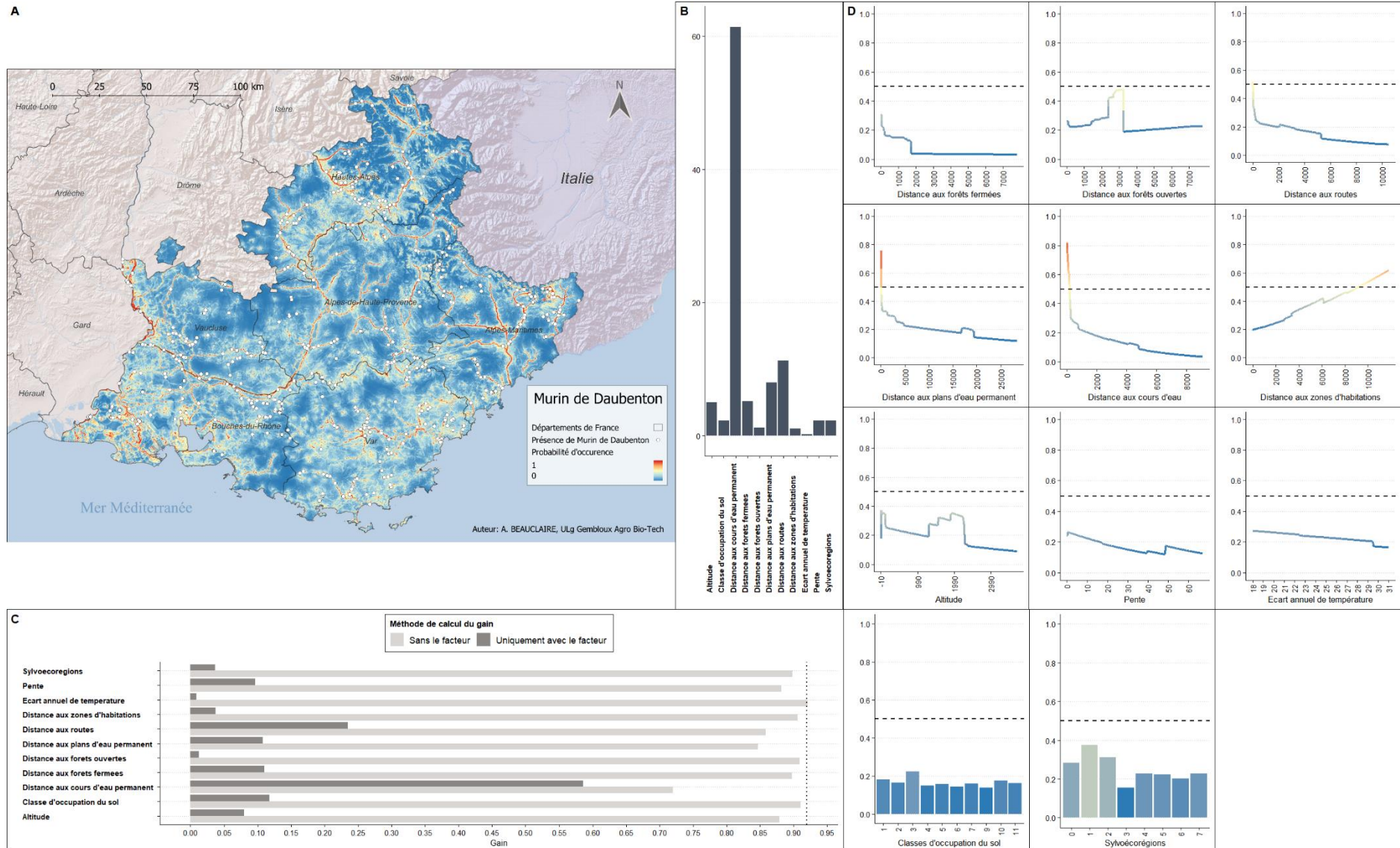


FIGURE 25 MODÉLISATION DE LA RÉPARTITION DU MURIN DE DAUBENTON (MAXENT) **CADRE A** : CARTE DE RÉPARTITION **CADRE B** : CONTRIBUTION DES FACTEURS **CADRE C** : TEST JACKKNIFE **CADRE D** : COURBES DE RÉPONSES DE LA RÉPARTITION AUX FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

5.1.2.5 LA PIPISTRELLE DE NATHUSIUS

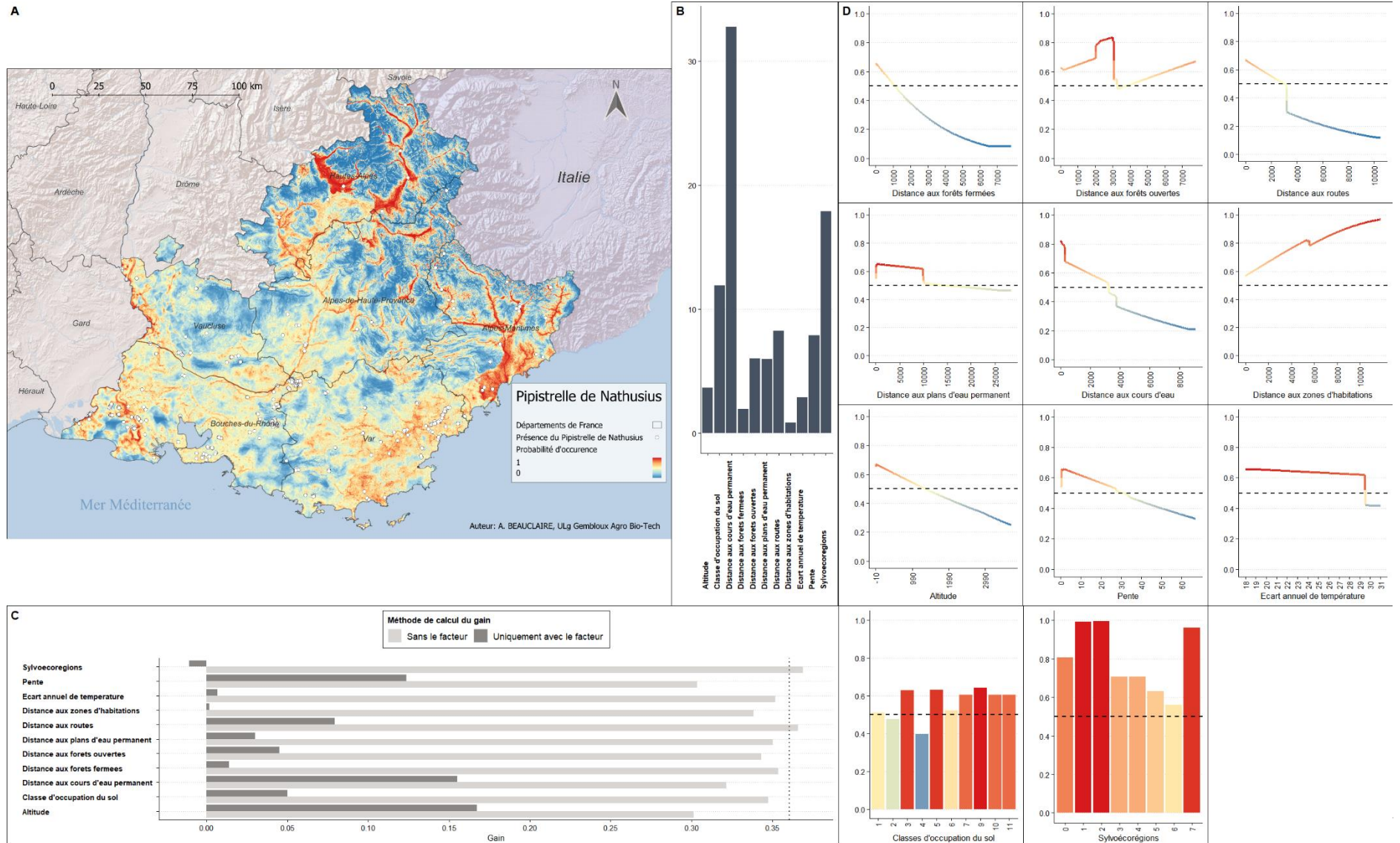


FIGURE 26 MODÉLISATION DE LA RÉPARTITION DE LA PIPISTRELLE DE NATHUSIUS (MAXENT) CADRE A : CARTE DE RÉPARTITION CADRE B : CONTRIBUTION DES FACTEURS CADRE C : TEST JACKKNIFE CADRE D : COURBES DE RÉPONSES DE LA RÉPARTITION AUX FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

5.1.2.6 L'OREILLARD MONTAGNARD

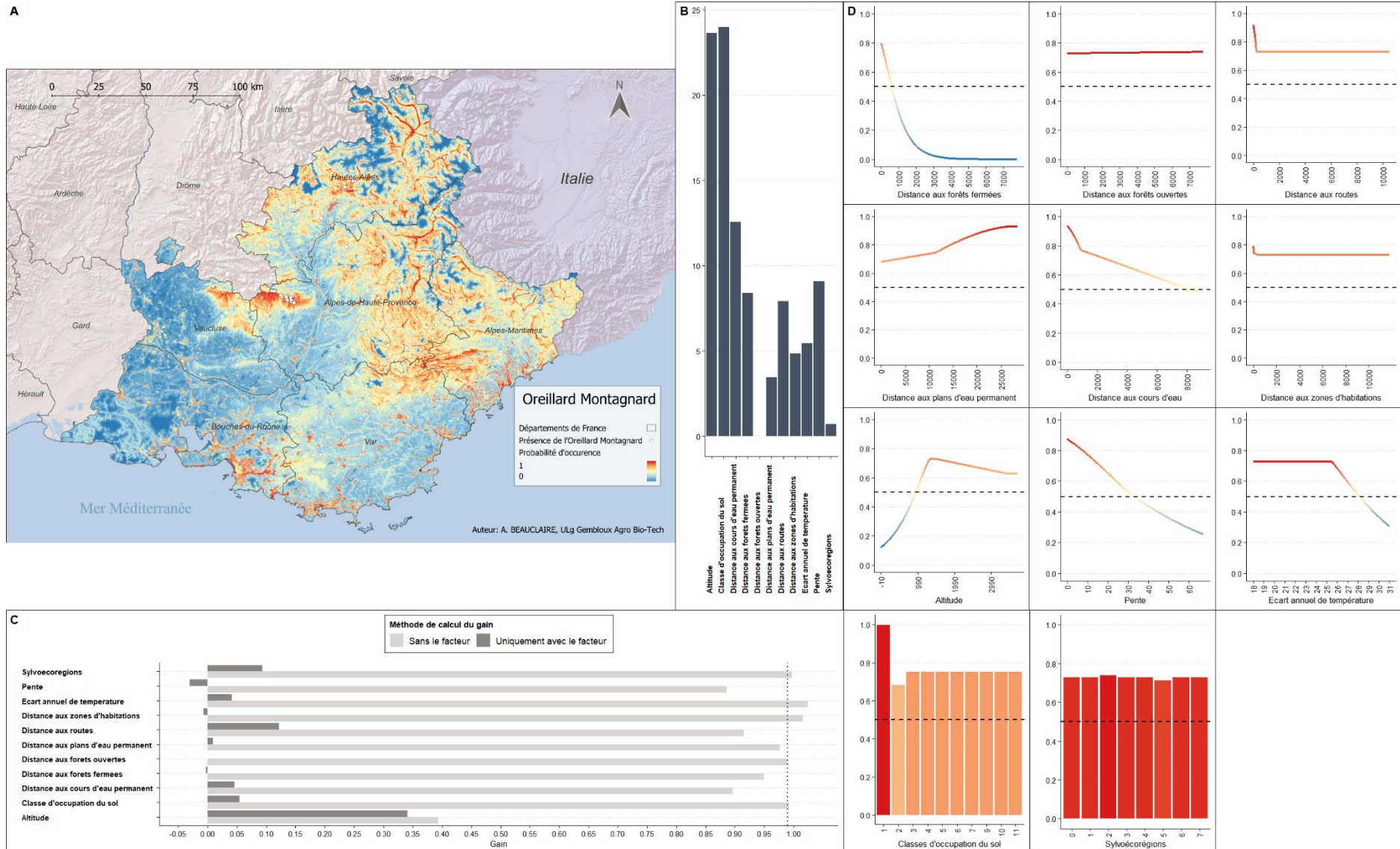


FIGURE 27 MODÉLISATION DE LA RÉPARTITION DE L'OREILLARD MONTAGNARD (MAXENT) CADRE A : CARTE DE RÉPARTITION CADRE B : CONTRIBUTION DES FACTEURS CADRE C : TEST JACKKNIFE CADRE D : COURBES DE RÉPONSES DE LA RÉPARTITION AUX FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX

5.2 TÉLÉMÉTRIE DE GÉMENOS

Lors de cette étude télémétrique, plusieurs informations ont pu être recueillies. Ainsi, le résumé du suivi et des déplacements des individus est en Annexe E, ainsi que le récapitulatif des comptages en sortie de gîte réalisés lors de cette étude en Annexe F.

5.2.1 CARTOGRAPHIE DES GÎTES CONFIRMÉS

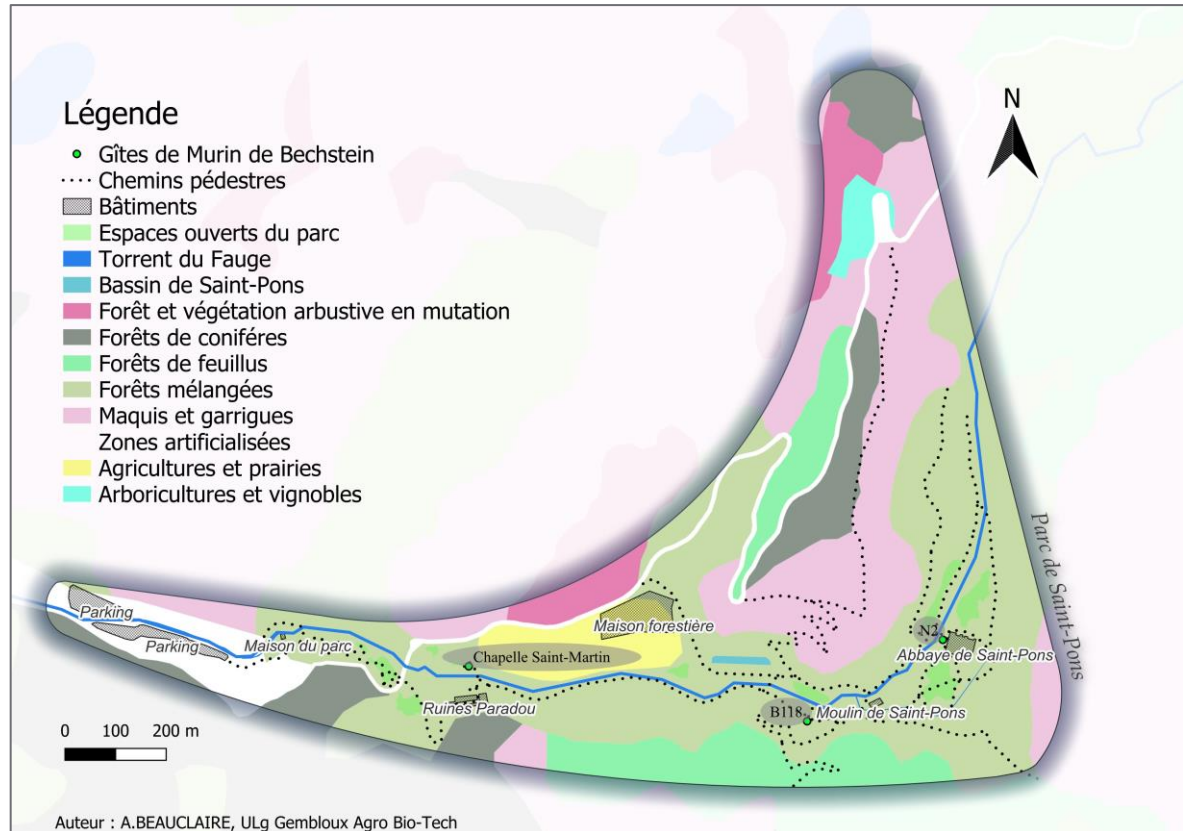


FIGURE 29 CARTE DES GÎTES CONFIRMÉS

Trois gîtes ont été confirmés au cours de cette étude, dont deux nouvellement découverts. Ces gîtes sont la chapelle Saint-Martin, déjà connue grâce aux études et observations antérieures (Beguier, 2015 ; Jean-Pierre, 2017 ; Bonnot, 2017), ainsi que les platanes identifiés par les marquages N2 et B118. Leur position est indiquée sur la carte de la *Figure 29*. Les arbres gîtes sont décrit au sein de l'Annexe G et Annexe H au travers de deux fiches nationales d'enquête. Les photos illustrant les sorties de gîtes sont en Annexe I, Annexe J et Annexe K.

5.3 COMPARAISON DES RÉSULTATS DE LA TÉLÉMÉTRIE AVEC LES PRÉDICTIONS DE LA MODÉLISATION

À l'issue de la télémétrie menée à Gémenos et de la confrontation des résultats de la modélisation avec ceux des Murin de Bechstein, les valeurs moyennes, médianes, ainsi que les valeurs minimales et maximales de la modélisation sont présentées aux endroits où les gîtes ont été trouvés (*Figure 30*).

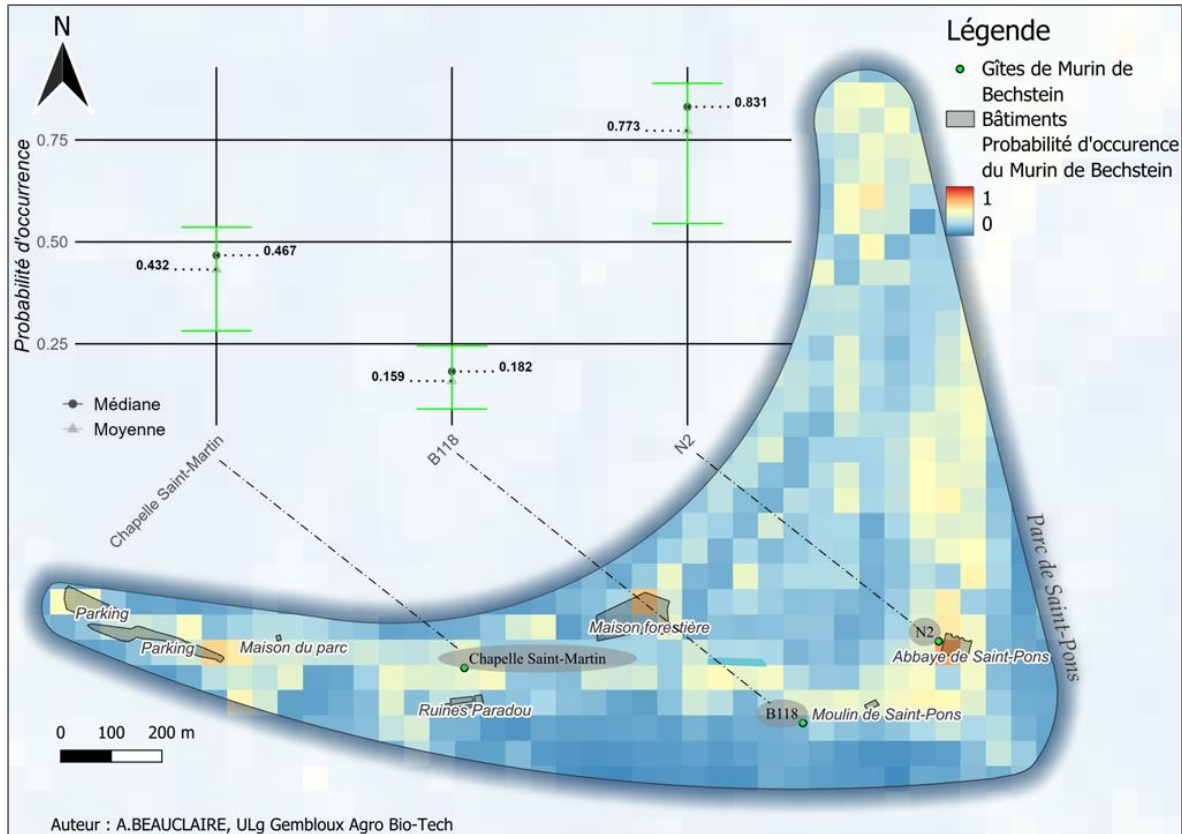


FIGURE 30 STATISTIQUES DE L'OCCURRENCE PRÉDITE DU MURIN DE BECHSTEIN SELON MAXENT ET CARTE DE RÉPARTITION DANS LE PARC DE SAINT-PONS..

6 ANALYSE RÉSULTATS

6.1 MODÉLISATION

6.1.1 CARACTÉRISTIQUES DES MODÈLES

Dans le cadre de la modélisation de la répartition des espèces de chauves-souris forestières, le surapprentissage se manifeste souvent par une disparité marquée entre les performances du modèle sur les données d'entraînement et celles sur les données de test. Par exemple, une AUC élevée sur les données d'entraînement comparée à une AUC plus faible sur les données de test, ou inversement, peut indiquer un surapprentissage. De même, des écarts importants entre ces deux métriques (AUC Diff), ainsi que des taux d'omission (OR) plus élevés que prévu, sont des signes révélateurs. Par exemple, pour l'Oreillard montagnard, bien que le modèle montre un Test Gain élevé, la différence notable entre l'AUC d'entraînement et l'AUC de test suggère un surapprentissage.

Les modèles pour les différentes espèces présentent des caractéristiques variées. Globalement, la plupart des modèles ont une bonne capacité à discriminer la présence de l'absence comme en témoigne les valeurs de Test Gain des espèces avec des AUC généralement élevées (>0,75).

Il y a une légère tendance générale au surapprentissage, avec un OR supérieur à 10% pour tous les modèles, bien que cela soit plus marqué pour certains. Cette tendance est principalement basée sur la différence d'AUC. La simplicité du modèle, c'est-à-dire la proximité des prédictions de MaxEnt par rapport aux données de présence initiales, est évaluée en fonction du RM et du Test Gain, et les modèles sont triés en fonction de ces résultats combinés (Tableau 5).

TABLEAU 5 SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DES MODÈLES

Caractéristiques déterminantes	<i>Discrimination absence/présence</i>	<i>Tendance au surapprentissage</i>	<i>Simplicité</i>
	Test Gain	AUC Diff et OR10	RM × Test Gain
Barbastelle d'Europe	+	++	+
Murin de Bechstein	+	++	-
Murin de Natterer	--	+	-
Pipistrelle de Nathusius	--	+	-
Oreillard roux	+	++	+
Oreillard montagnard	++	+++	+++
Murin de Daubenton	++	+	-

6.1.2 STATISTIQUES SPATIALES

6.1.2.1 BARBASTELLE D'EUROPE

La principale contribution au modèle provient des facteurs de classe d'occupation du sol et de la distance aux forêts fermées et aux cours d'eau permanents (*cf. cadre B, Figure 22*). Le facteur environnemental ayant le gain le plus élevé lorsqu'il est utilisé seul est l'altitude, ce qui suggère qu'il détient les informations les plus pertinentes par lui-même. Le facteur environnemental qui diminue le plus le gain lorsqu'il est omis est celui de la pente, ce qui semble indiquer qu'il apporte des informations significatives non présentes dans les autres facteurs (*cf. cadre C, Figure 22*).

L'examen des courbes et des histogrammes de réponse des facteurs mentionnés dans la modélisation révèle que la probabilité d'occurrence est inversement proportionnelle à la distance aux forêts fermées, suivant une tendance logarithmique à partir d'environ deux mille mètres. De plus, les Barbastelles d'Europe semblent tolérer des pentes assez abruptes jusqu'à trente degrés, car la probabilité d'occurrence reste supérieure à 0,5 jusqu'à cette inclinaison. La proximité des cours d'eau permanents est également un élément crucial pour leur probabilité d'occurrence, car celle-ci est particulièrement élevée lorsque les chauves-souris se trouvent à proximité immédiate de ces cours d'eau, selon la modélisation.

En ce qui concerne les classes d'occupation du sol, les classes d'infrastructures et de feuillus décidus présentent les probabilités d'occurrence les plus élevées, approchant 1. Cependant, la distance par rapport aux zones d'habitations indique une probabilité d'occurrence croissante avec l'augmentation de cette distance. La probabilité d'occurrence est la plus faible pour la classe des herbacées périodiques.

Pour d'autres facteurs tels que les sylvoécórégions, l'intérêt se porte sur les Alpes internes du Sud, où la probabilité d'occurrence dépasse 0,8, tandis qu'elle est inférieure à 0,4 pour la Provence calcaire et à peine à 0,45 pour les plaines et collines rhodaniennes et languedociennes. Du point de vue de l'altitude, la Barbastelle d'Europe a une plus grande probabilité de présence entre zéro et 1350 mètres, puis cette probabilité diminue au-delà.

6.1.2.2 MURIN DE BECHSTEIN

La principale contribution au modèle provient des facteurs suivants : la distance aux zones d'habitations, aux routes et aux sylvoécórégions (*cf. cadre B, Figure 23*). Lorsque ces facteurs sont utilisés individuellement, celui des sylvoécórégions présente le gain le plus élevé, ce qui suggère qu'il fournit le plus d'informations par lui-même (*cf. cadre C, Figure 23*). En revanche, le gain du modèle diminue le plus lorsque le facteur de distance aux forêts fermées est omis, indiquant que ce facteur contient des informations spécifiques non présentes dans les autres (*cf. cadre C, Figure 23*).

Les courbes et histogrammes des réponses des facteurs montrent que les probabilités d'occurrence sont plus élevées lorsque la distance aux forêts fermées est inférieure à cinq cents mètres. Par ailleurs, lorsque la distance aux zones d'habitations dépasse quatre-mille mètres, les probabilités atteignent 1. Selon la modélisation, les probabilités augmentent également lorsque la distance aux routes diminue jusqu'à devenir très proche. En ce qui concerne les sylvoécórégions, celles des Alpes intermédiaires du Sud et des Alpes internes du Sud sont associées à une forte probabilité de présence. Enfin, parmi les classes d'occupation du sol, les classes des infrastructures et des eaux sont celles qui présentent une probabilité de présence plus élevée.

6.1.2.3 MURIN DE NATTERER

La principale contribution au modèle provient de la distance aux cours d'eau permanents et aux routes (*cf. cadre B, Figure 24*). D'une part, lorsque ces facteurs sont analysés individuellement, la distance aux cours d'eau permanents et aux forêts fermées présentent des gains similaires et significatifs. D'autre part, le gain du modèle diminue le plus lorsque le facteur de la pente est omis, ce qui indique que ce facteur contient des

informations spécifiques absentes des autres (cf. *cadre C, Figure 24*). Il convient également de noter que cette diminution est comparable pour les facteurs de distance aux routes et aux cours d'eau permanents.

Les courbes et histogrammes des réponses des facteurs montrent que les probabilités d'occurrence augmentent avec la distance aux zones d'habitation et diminuent avec la distance aux cours d'eau (voir à proximité immédiate). La probabilité d'occurrence en fonction de la distance aux routes suit une courbe en cloche, indiquant une probabilité élevée de présence à la fois à proximité et à distance. En ce qui concerne les autres facteurs, les probabilités associées sont moins élevées malgré des tendances claires, comme la diminution de la probabilité avec la réduction de la distance aux forêts ouvertes et fermées.

6.1.2.4 MURIN DE DAUBENTON

La contribution la plus importante au modèle provient de la distance aux cours d'eau permanents, représentant plus de 60% de l'apport (cf. *cadre B, Figure 25*). Ce facteur est celui qui apporte le plus de gain au modèle lorsqu'il est considéré isolément. De plus, son omission entraîne la plus grande diminution du gain du modèle, indiquant que la distance aux cours d'eau permanents contient des informations spécifiques (cf. *cadre C, Figure 25*).

Les courbes et histogrammes des réponses montrent que la probabilité de présence est généralement faible pour la plupart des facteurs environnementaux (rarement au-dessus de 0,4), à l'exception de trois facteurs : la distance aux plans d'eau permanents, la distance aux cours d'eau permanents, et la distance aux zones d'habitations. Pour les points d'eau et les cours d'eau, la probabilité de présence est maximale à proximité immédiate et chute drastiquement à 0,3 au-delà de cent mètres pour les cours d'eau et à environ mille mètres pour les plans d'eau permanents. En ce qui concerne les zones d'habitations, la probabilité de présence atteint 0,6 lorsque la distance dépasse dix-mille mètres.

6.1.2.5 PIPISTRELLE DE NATHUSIUS

La principale contribution au modèle provient de la distance aux cours d'eau permanents (cf. *cadre B, Figure 26*). Lorsqu'on considère les facteurs individuellement, l'altitude et la distance aux cours d'eau permanents démontrent les gains les plus élevés pour le modèle. L'omission de ces facteurs entraîne la plus grande diminution du gain du modèle, suggérant que l'altitude contient des informations spécifiques absentes des autres facteurs (cf. *cadre C, Figure 26*).

Les courbes et histogrammes de réponses montrent que la probabilité de présence diminue linéairement avec l'altitude et la pente. Pour la distance aux cours d'eau permanents, la proximité à ceux-ci est associée à une haute probabilité de présence, qui ne descend en dessous de 0,5 qu'à environ 3700 mètres. Les autres facteurs indiquent une probabilité plus élevée de présence à une distance comprise entre deux-mille et trois-mille mètres des forêts ouvertes. La probabilité de présence augmente également à mesure que la distance aux zones d'habitation augmente.

Du point de vue des facteurs catégoriels, les sylvoécotons avec le taux de probabilité le plus élevé sont les Alpes internes du Sud, les Alpes intermédiaires du Sud et le secteur niçois et pré-ligure. La classe de sol avec la probabilité la plus élevée, bien que seulement légèrement supérieure aux autres, est celle des eaux.

6.1.2.6 OREILLARD MONTAGNARD

Les deux facteurs qui contribuent le plus au modèle sont l'altitude et les classes d'occupation du sol (cf. *cadre B, Figure 27*). Le facteur qui apporte le gain le plus élevé lorsqu'il est considéré isolément est l'altitude. De plus, c'est l'altitude dont l'omission entraîne la plus grande perte de gain pour le modèle. Cela montre que l'altitude contient le plus d'informations spécifiques non incluses dans les autres facteurs (cf. *cadre C, Figure 27*).

Les courbes et histogrammes des réponses montrent que la plupart des facteurs sont associés à de fortes probabilités de présence sans forcément suivre une tendance claire. Par exemple, la distance aux forêts

ouvertes, aux routes et aux zones d'habitation affiche une probabilité élevée, autour de 0,9 dans les premiers mètres, puis se stabilise à environ 0,7 pour les distances plus lointaines. Les classes de sylvoécotégions ont toutes une probabilité équivalente d'environ 0,75. En ce qui concerne l'occupation du sol, il est notable que les infrastructures sont associées à une probabilité de présence de 1.

Pour la distance aux cours d'eau permanents et aux forêts fermées, les probabilités diminuent de manière linéaire à mesure que la distance augmente, atteignant environ 0,5 aux distances les plus éloignées pour les cours d'eau permanents à partir de mille mètres. La probabilité de présence chute à 0 lorsque la distance aux forêts fermées dépasse quatre-mille mètres.

Le facteur de l'altitude, qui contribue le plus au modèle et apporte le gain le plus important, indique que l'Oreillard montagnard a une probabilité de présence plus élevée lorsque l'altitude dépasse mille cinq cents mètres.

6.1.2.7 OREILLARD ROUX

Les facteurs qui contribuent le plus au modèle sont la distance aux zones d'habitation, suivie de près par la distance aux cours d'eau permanents et aux forêts fermées (*cf. cadre B, Figure 28*). Le facteur qui apporte le gain le plus élevé lorsqu'il est considéré isolément est l'altitude. En revanche, le facteur dont l'omission entraîne la plus grande perte de gain pour le modèle est la distance aux forêts fermées (*cf. cadre C, Figure 28*).

Les courbes et histogrammes des réponses montrent que la probabilité de présence est positivement associée à une proximité immédiate des zones d'habitation, ainsi qu'à une distance supérieure à quatre mille mètres d'elles. Concernant les cours d'eau permanents, la probabilité est élevée entre zéro et mille mètres de distance et puis descend. Comme dans les précédentes modélisations des espèces de chauves-souris forestières, la probabilité de présence augmente à mesure que la distance aux forêts fermées diminue. Pour les facteurs catégoriels, une classe d'occupation du sol et une sylvoécotégion se distinguent par leur forte association avec une probabilité élevée de présence : respectivement, la classe des eaux et celle des plaines et collines rhodaniennes et languedociennes.

7 DISCUSSION

7.1 MODÉLISATION DES ESPÈCES

7.1.1 BARBASTELLE D'EUROPE

Les résultats semblent pertinents en fonction de l'écologie de l'espèce en PACA. En effet, la probabilité d'occurrence augmente avec le fait que la forêt fermée soit proche. Comme le témoigne la bibliographie, cette chauve-souris témoigne des forêts vierges et est donc adapté aux forêts fermées (Tillon, 2008). De plus, cette chauve-souris est reconnue plus détectable le long des ripisylves (Sané, 2020) ce que la modélisation a en effet identifié en indiquant la proximité des cours d'eau en zone de plus haute probabilité d'occurrence. Des préférences d'habitats forestiers sont aussi lisibles au travers de la modélisation dont notamment les forêts de feuillus comme le confirme les conseils de gestion favorables pour cette espèce qui préconisent de promouvoir les chênaies avec des sous-bois composés d'arbustes (Roué et Barataud, 1999 ; Bensettiti et al, 2002). A travers la représentation cartographique de la modélisation, la répartition plus rare d'après la bibliographie dans le département du Var n'apparaît pas clairement. Cependant, en lisant les graphiques de réponses aux différents facteurs, il apparaît que la Barbastelle d'Europe a une probabilité d'occurrence nettement plus grande dans la sylvoécocorégion des Alpes internes du Sud et la plus faible possible dans celle de la Provence calcaire et des Préalpes du sud, zones qui correspondent également à une grande zone de recouvrement du département du Var et qui expliquerait donc les observations reléguées dans la bibliographie (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016). Ceci semble notamment s'expliquer par la composition des Alpes, qui sont constituées de forêts plus humides comparées à la Provence calcaire avec ses garrigues et maquis (Douguedroit, 1976).

7.1.2 MURIN DE BECHSTEIN

La modélisation du Murin de Bechstein met en lumière un biais intéressant parmi les facteurs environnementaux. Bien que le modèle soit en accord avec la bibliographie sur plusieurs aspects, notamment le fait que le Murin de Bechstein est une espèce forestière prononcée (Schlapp, 1990 cité dans Barataud, 2006; Barataud *et al.*, 2005b; Meschede & Heller, 2003), qui préfère donc la proximité aux forêts fermées, un point soulève des questions. La classe d'occupation du sol « infrastructures » indique une forte probabilité de présence, tandis que le facteur « Distance aux habitations » montre une probabilité d'occurrence plus élevée lorsque celles-ci sont éloignées. Quelle pourrait être la nature de ces structures, si ce ne sont pas des habitations, qui biaisent l'interprétation au sein de la classe « infrastructures » ?

Selon la bibliographie, il est plus probable que ces structures soient des ruines ou des bâtiments anciens, généralement éloignés des zones d'habitation mais situés dans des paysages forestiers, ce qui est typique en PACA pour cette espèce (Sané, 2020; Gallocher, 1958, cités dans Haquart *et al.*, 1997; Rombaut & Chevalier, 1996). Cela pourrait expliquer pourquoi la classe « infrastructures », qui comprend à la fois des habitations et d'autres types de constructions, est trop large pour être précise dans le cadre de la modélisation pour des chauves-souris forestières. Aussi, l'espèce est surtout connue en PACA pour giter dans du bâti. Au vue du faible nombre de localités connues, le modèle peut être biaisé par cette caractéristique de gîte et conclure que les infrastructures sont favorables à l'espèce.

7.1.3 MURIN DE NATTERER

Actuellement, cette espèce nécessite des éclaircissements quant à sa situation génétique, bien que celle-ci soit actuellement identifiée comme deux espèces distinctes lors des sessions de capture télémétriques avec le *Myotis crypticus* (Puechmaile *et al.*, 2012). En effet, la situation génétique a bien tranché la question en le délimitant en plusieurs espèces dont notamment le *Myotis crypticus* depuis 2019 (Juste *et al.*, 2019) mais les limites de l'occupation du territoire par *Myotis nattereri* avec *Myotis crypticus* restent floues. Ainsi, pour rappel, c'est le Murin de Natterer *sensu lato* qui est étudié ici, malgré la reconnaissance de deux espèces distinctes. Les informations fournies par le modèle semblent pertinentes selon la bibliographie. On peut identifier qu'il s'agit de chauves-souris qui préfèrent la proximité des forêts ouvertes et fermées ((*cf. cadre D, Figure 24*). Cependant, leur caractère forestier n'est pas aussi marqué que chez d'autres espèces de chauves-

souris. Bien que des probabilités d'occurrence plus élevées soient observées à proximité des forêts ouvertes ou fermées, elles restent relativement faibles, avec un maximum de 0,6 en proximité immédiate. Ces chauves-souris conservent donc un caractère assez ubiquiste comparé à d'autres, ce qui est en accord avec la modélisation et la bibliographie. Conformément à Smith et Racey (2002), cités dans Parsons et Jones (2003), le Murin de Natterer préfère effectivement les habitats boisés, mais est également présent dans les pâturages, les terres arables et les plans d'eau ouverts pour se nourrir. Cela correspond aux conclusions de la modélisation, qui reflètent sa légère tendance ubiquiste. Malgré cela, il est notable que le modèle, tout comme Parsons et Jones (2003), a identifié que les espaces aménagés, associés aux grandes zones urbaines comme les villes, sont les moins utilisés par le Murin de Natterer. Compte tenu de ces éléments, la modélisation semble pertinente, à l'exception d'un biais qui sera traité ultérieurement en lien avec le réseau routier jugé favorable par le modèle, ainsi que la zone de la Camargue où une haute probabilité a été observée.

7.1.4 MURIN DE DAUBENTON

Une des principales caractéristiques écologiques du Murin de Daubenton ressort fortement de la modélisation réalisée. En effet, l'affinité bien connue de cette espèce pour les cours d'eau et les plans d'eau (Todd & Williamson, 2019) est le facteur dominant, voire presque exclusif, qui détermine la modélisation. Il serait intéressant de différencier les types de zones aquatiques et d'évaluer la qualité de l'eau pour modéliser plus précisément sa répartition, comme cela a été fait par Langton *et al.* (2010), mais appliqué au paysage de la PACA.

7.1.5 PIPISTRELLE DE NATHUSIUS

La principale contribution du modèle, ainsi que le facteur le plus pertinent (celui avec le gain le plus élevé), est la distance aux cours d'eau. Cet élément est cohérent avec la bibliographie sur l'écologie de la Pipistrelle de Nathusius en PACA. En effet, cette espèce est bien connue pour sa présence marquée dans les zones humides (Tillon, 2008) et pour chasser le long des ripisylves (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016). Le biais lié à la proximité des routes est également observable dans cette modélisation.

Cependant, malgré cette confirmation bibliographique et la reconnaissance de ce biais, une question persiste à la lecture du modèle MaxEnt : pourquoi l'altitude semble-t-elle influencer fortement la probabilité d'occurrence de cette espèce, en particulier en favorisant les basses altitudes ? Cela pourrait-il être lié à la hauteur relative des points où elle a été observée, c'est-à-dire à proximité des cours d'eau et de la côte ? Ou bien, est-ce un comportement expliqué par la migration partielle qu'elle réalise en PACA (LPO PACA, GECEM & GCP, 2016) qui lui font longer les côtes de la mer Baltique jusqu'à l'océan Atlantique (Biegala & Rideau, 2012) ?

7.1.6 OREILLARD MONTAGNARD

Le manque d'informations sur l'Oreillard montagnard est flagrant à la lumière de la modélisation réalisée. En effet, cette modélisation est celle avec le moins de points de présence et, par conséquent, avec une diversité d'informations limitée fournie à MaxEnt, avec seulement soixante points de présence utilisés pour créer un modèle à l'échelle de la région PACA. Cela se traduit par un surapprentissage et une simplicité accrue du modèle. Les rares points de présence dans DBChiroGCP mentionnent principalement des emplacements au sein d'infrastructures situées à haute altitude dans la région. Ainsi, les variables dominantes du modèle sont l'occupation du sol et l'altitude.

Bien que la présence de l'espèce à des altitudes allant jusqu'à 2800 mètres soit justifiée par la bibliographie (Alberdi *et al.*, 2012), le modèle a tellement surappris et est simpliste qu'il étend la probabilité de présence de l'Oreillard montagnard aux infrastructures de Marseille dans les Bouches-du-Rhône, ce qui semble peu probable. Pour améliorer la modélisation de la répartition de l'Oreillard montagnard à l'échelle de la PACA, il serait nécessaire de procéder à plusieurs ajustements. Premièrement, il faudrait subdiviser la classe d'occupation du sol en plusieurs catégories, en fonction de la densité des infrastructures et de leur séparation. Ensuite, il serait utile d'intensifier les efforts de prospection pour cette espèce à l'échelle de la PACA, malgré

la difficulté de détection acoustique. Sur le plan physiologique, elle se distingue par un coussinet triangulaire sur la lèvre inférieure, un caractère distinctif des autres oreillards (Tvrtković *et al.*, 2005).

7.1.7 OREILLARD ROUX

À travers la modélisation réalisée pour l'Oreillard roux, les éléments bibliographiques et les données historiques des points d'enregistrement de présence dans DBChiroGCP permettent d'expliquer la probabilité d'occurrence plus élevée à proximité immédiate des zones d'habitation, mais aussi à une certaine distance de celles-ci. En effet, l'Oreillard roux montre une affinité particulière pour les zones forestières décidues (Choquené, 2006; Tillon, 2008), en particulier lorsque le couvert est fermé, comme l'indique également le modèle MaxEnt. Il s'agit d'une espèce clairement associée aux forêts. Cependant, en PACA, ses sites de mise bas sont principalement localisés dans des habitations situées à proximité d'un couvert boisé (LPO PACA, GECM & GCP, 2016; Entwistle *et al.*, 1997). Cet élément pourrait introduire un biais dans la modélisation de cette espèce.

De plus, bien que la majorité des points de présence utilisés pour la modélisation se situent dans les départements alpins (04, 05 et 06), ce qui permet de conclure qu'il préfère généralement les milieux montagnards et forestiers, le modèle prédit une forte probabilité d'occurrence en Camargue et le long de la sylvoécocorégion des Collines rhodaniennes et languedociennes. Cela soulève des questions, car les connaissances actuelles sur l'Oreillard roux indiquent qu'il n'est pas présent le long de la Méditerranée (LPO PACA, GECM & GCP, 2016). Sommes-nous confrontés aux limites du modèle MaxEnt, qui ne peut pas intégrer les informations d'absence, ou bien ces conditions sont-elles réellement favorables à l'Oreillard roux dans les paysages de l'ouest de la PACA ? Comme le souligne la bibliographie (LPO PACA, GECM & GCP, 2016), les prospections de ses gîtes forestiers sont insuffisantes et sa détection peu évidente (Barataud, 2020).

7.2 LES BIAIS DE LA MODÉLISATION

Comme le laisse supposer la lecture des résultats de la modélisation, cette dernière rencontre quelques biais. Les plus susceptibles d'avoir influencé les modélisations sont probablement liés au choix des facteurs ou des points de présence sélectionnés. En effet, la méthodologie utilisée par la suite est suffisamment robuste pour éviter la plupart des biais connus en modélisation. Notamment, le paramétrage statistique et itératif de MaxEnt, effectué ici avec la fonction ENMevaluate, permet d'optimiser la pertinence statistique en fonction du jeu de données disponible (Muscarella *et al.*, 2014).

7.2.1 LE RÉSEAU ROUTIER

Un premier biais notable dans la modélisation est l'abondance de points de présence de chiroptères près des routes, ce qui conduit à les considérer à tort comme des habitats favorables dans la région comme le démontre de nombreuses études (Bielsa *et al.*, 2008 ; Nowicki, 2015). Plusieurs études chiroptérologiques, comme celle de Quekenborn (2009), ont inclus dans la base de données DBChiroGCP des points de présence proches des routes. Cela est particulièrement observé lors d'études commanditées par certains partenaires en lien direct avec des infrastructures autoroutières comme Vinci Autoroutes, où la présence de chiroptères sous des ponts a, par exemple, été identifiée. On pourrait donc conclure que certaines espèces de chiroptères préfèrent les infrastructures routières comme les ponts et les arbres en bord de route plutôt que la route elle-même...

Toujours en lien avec ce biais, lorsque des informations sont remontées par les bénévoles, elles proviennent souvent de zones facilement accessibles, donc proche du réseau routier. Il est en effet plus simple d'observer les bords de route que les cœurs des massifs forestiers. Par ailleurs, les routes suivent souvent des éléments naturels tels que des cours d'eau ou des vallons frais. Tous ces facteurs conduisent à une surreprésentation des points de présence de chiroptères près des routes, que MaxEnt interprète à tort comme des habitats plus favorables.

Malgré ces faits, il est également notable qu'un aménagement routier peut entraîner la création de nouveaux milieux, parfois favorables aux chauves-souris. En effet, de nouveaux terrains de chasse et de nouvelles routes de vol peuvent émerger de la végétalisation des abords des routes (Bickmore & Wyatt, 2006 ; Highway Agency, 1999, cités dans Bielsa *et al.*, 2008). Cependant, la diversité et la richesse des insectes dépendent notamment de mesures de gestion favorables, comme le rythme de fauche (Jakobsson *et al.*, 2018). Finalement, il est important de noter que la recherche en ce sens est fortement biaisée taxonomiquement en se focalisant majoritairement sur la présence de certaines plantes, et aucune étude n'a été trouvée sur la manière dont la gestion des bas-côtés des routes affecte la dispersion des espèces (Bernes *et al.*, 2017).

7.2.2 LE FACTEUR OCCUPATION DU SOL ET SA CLASSE « INFRASTRUCTURE »

Un second biais observé dans la modélisation est lié à la classe des infrastructures dans le facteur d'occupation du sol qui provient de la couche *BlackBone+* de Copernicus. En effet, des structures telles que des chapelles, des abbayes ou des ruines sont parfois considérées comme des infrastructures par le modèle même si elles sont de petite taille. Par exemple, comme peut l'illustrer la situation du parc de Saint-Pons à Gémenos, des petites infrastructures, comme la chapelle Saint-Martin, se trouvent au milieu de forêts et sont susceptibles d'être le gîte d'une colonie. Le modèle peut donc étendre le facteur occupation du sol et particulièrement sa classe infrastructure comme favorable à certaines espèces, alors qu'elles sont surtout influencées par la matrice prédominante du paysage, la forêt décidue dans le cas de l'exemple. Pour améliorer la précision du modèle, il serait judicieux d'identifier et exclure les bâtiments isolés d'un tissu plus dense d'infrastructures au sein du facteur d'occupation du sol.

7.2.3 LA CAMARGUE

Ensuite, il est également nécessaire de questionner les zones de probabilité d'occurrence liées à la Camargue, zones où les milieux humides sont les plus biodiversifiés du bassin méditerranéen (Fraixedas *et al.*, 2019) en raison de l'absence de prise en compte du facteur maritime dans les modélisations et de la diversité des milieux atypiques présents dans la Camargue. Cette dernière devrait être étudiée et modélisée comme une entité distincte pour ses aspects spécifiques (Fonderflick *et al.*, 2015).

7.2.4 DIFFÉRENCES D'ÉCHANTILLONNAGE

Les points de présence dans DBChiroGCP proviennent principalement de l'analyse des sons enregistrés par des détecteurs passifs déployés en PACA. Les résultats de ces relevés acoustiques sont influencés par la détectabilité des espèces de chiroptères, qui varie en fonction de l'intensité de leurs cris et de la distance à laquelle ils peuvent être détectés. Des espèces comme le Murin de Bechstein, la Barbastelle d'Europe, le Murin de Natterer et le Murin de Daubenton, dont la détection passive est limitée à 10-15 mètres par rapport au détecteur, sont sous-représentées en raison de cette difficulté (Barataud, 2020). Cette sous-représentation peut introduire un biais dans les modèles de répartition, tels que MaxEnt. Pour remédier à cela, dans le cadre des études acoustiques, un coefficient de détectabilité est appliqué à l'activité de l'espèce étudiée, en tenant compte de l'intensité de ses cris et de la distance à laquelle elle peut être détectée (Barataud, 2020). Il serait utile de développer des méthodes similaires au coefficient de détectabilité pour mieux standardiser les analyses spatiales entre les espèces chiroptères.

7.2.5 PERSPECTIVES D'AMÉLIORATIONS ET ÉTAT DE LA MODÉLISATION

Bien que la modélisation MaxEnt présente certains biais, il est important de noter que l'analyse à l'échelle de la région PACA, avec une résolution fine de cinquante mètres, permet de détecter rapidement ces biais et leurs causes. En revanche, cette détection devient plus complexe lorsque la même modélisation est appliquée à des échelles plus petites, comme dans certaines études télémétriques ou des zones spécifiques telles que des parcs. Ainsi, si les biais sont visibles à grande échelle, les modèles appliqués à des échelles plus réduites mais avec des résolutions similaires risquent de ne pas identifier ces biais, ce qui pourrait fausser les probabilités d'occurrence.

Cependant, il est intéressant de noter que MaxEnt surpasse souvent d'autres modèles en termes de capacité prédictive et montre une variabilité moindre dans ses performances (Elith *et al.*, 2006; Hernandez *et al.*, 2006; Rebelo et Jones, 2010). De plus, MaxEnt excelle en termes de transférabilité, bien que cette dernière puisse être limitée par des différences dans la sélection de l'habitat et l'absence de données. Ce travail confirme l'importance du choix pertinent des variables et des points de présence pour une modélisation MaxEnt (Rainho et Palmeirim, 2011). Les variables choisies dans cette étude révèlent certains biais, offrant ainsi des possibilités concrètes d'amélioration pour la plateforme DBChiroGCP lors de l'exportation des données. En parallèle avec l'analyse de la détectabilité et des relevés acoustiques, il serait intéressant de modéliser selon deux approches distinctes et de les comparer : l'une basée uniquement sur des données acoustiques et l'autre sur les résultats d'études télémétriques. Ces dernières sont mieux adaptées pour des espèces rares et difficiles à détecter avec des détecteurs à ultrasons (comme les espèces du genre *Rhinolophus*) ou présentant des difficultés d'identification acoustique (comme dans le genre *Myotis*) (Bellamy *et al.*, 2013).

Malgré ces limitations, les prédictions de l'adéquation de l'habitat fournies par MaxEnt peuvent indiquer où une espèce est la plus susceptible de se trouver, même si elles ne peuvent pas préciser si le meilleur habitat contient l'espèce dans 90% des échantillons ou seulement 10% (Raes *et al.*, 2009).

7.3 TÉLÉMÉTRIE DU PARC DE SAINT-PONS

Les résultats de la télémétrie effectuée dans le parc de Saint-Pons ont permis de localiser deux nouveaux arbres-gîtes, malgré des problèmes techniques tels que le dysfonctionnement des émetteurs, dont la durée de vie s'est révélée étrangement courte. En effet, lors d'une session de télémétrie, il a été observé que certaines chauves-souris dans la chapelle Saint-Martin étaient équipées d'émetteurs, mais aucune fréquence n'a pu être captée à l'aide de l'Australis, ce qui laisse supposer que les émetteurs étaient défectueux. Au moins trois chauves-souris n'ont ainsi pas pu être suivies complètement lors de l'étude, et ce phénomène est supposé s'étendre à d'autres chauves-souris qui n'ont pas pu être retrouvées au-delà de cinq kilomètres de la zone d'étude, soit la limite des capacités de vol de cette espèce.

Les arbres-gîtes découverts semblent confirmer que la plupart des espèces de chauves-souris choisissent des cavités durables et bien protégées des prédateurs terrestres, telles que des trous de pic ou des fissures étroites situées dans des parties saines des arbres et à des hauteurs élevées (Tillon & Aulagnier, 2014). Les entrées des gîtes (Annexes I, J, K) sont situées à des hauteurs considérables, notamment pour l'arbre N2, à plus de quatorze mètres. Il est également important de noter que l'arbre N2 se trouve remarquablement proche de l'ancien platane torché qui servait de gîte à la colonie. Cela souligne que la colonie de Murin de Bechstein du parc de Saint-Pons reste fortement inféodée à son environnement.

Ce constat met en évidence l'importance de proposer des mesures de gestion adaptées pour pérenniser l'une des rares colonies de Murin de Bechstein dans les Bouches-du-Rhône (Sané, 2020).

7.3.1 RECOMMANDATIONS DE GESTIONS

Les chauves-souris, incapables de créer leurs propres gîtes, dépendent des cavités formées par les conditions météorologiques (vent, gel), la dégradation naturelle du bois, ainsi que par le forage de cavités par des organismes vertébrés comme les *Picidae* mais également invertébrés (Kunz & Lumsden 2003; Andrews *et al.* 2013). Par conséquent, pour garantir la conservation efficace de la colonie de Murin de Bechstein, plusieurs actions sont nécessaires, basées sur l'analyse des besoins écologiques et des recommandations scientifiques.

7.3.1.1 IDENTIFICATION ET MAINTIEN DES ARBRES À CAVITÉS

Il est décisif d'identifier et de conserver des arbres à cavités, au-delà de ceux déjà connus. Les arbres-gîtes connus sont situés près des chemins pédestres et pourraient, à terme, nécessiter des interventions sylvicoles sanitaires pour assurer la sécurité des piétons. Bien que ces interventions soient nécessaires, elles pourraient fragiliser ces arbres-gîtes et entraîner la désertion de la colonie de Murins de Bechstein. Il est donc essentiel

de repérer et de préserver un réseau de gîtes forestiers selon deux approches, dans des zones moins exposées, afin de garantir la continuité des habitats pour les chiroptères en cas de perturbations futures.

Premièrement, la densité des arbres-gîtes potentiels devrait être élevée et leur distribution spatiale agrégée en taches (Jaberg & Bohnenstengel, 2006), pour atteindre au moins vingt-cinq à trente cavités par hectare, soit sept à dix arbres par hectare (Meschede *et al.*, 2000). Ces arbres ne doivent pas être séparés par plus de mille mètres. Les arbres à cavités doivent être identifiés en hiver, période où leur détection est facilitée, et marqués pour une conservation adéquate (Pénicaud, 2000). Il est toutefois à noter que les arbres-gîtes dans des bois morts sont moins intéressants pour les chiroptères en raison du microclimat, même s'ils jouent un rôle important dans l'offre alimentaire (Weggler & Aschwanden, 1999, cité dans Meschede *et al.*, 2000). L'importance d'identifier dès maintenant des arbres d'avenir biologique réside dans le fait que les essences feuillues dominantes développent des cavités propices après environ cent ans, et ce nombre augmente exponentiellement avec l'âge. En effet, seulement 1% des *Quercus robur* âgés de moins de cent ans possèdent des cavités, tandis que ce chiffre atteint 50% pour des arbres plus vieux, jusqu'à 100 % après l'âge de quatre cents ans (Ranius *et al.*, 2009). Parmi ces cavités, seulement 9% sont utilisées par les chauves-souris, ce qui correspond à 1% des arbres ayant une taille suffisante pour héberger une cavité (Tillon et Aulagnier, 2014 ; Tillon *et al.*, 2015).

Ensuite, pour pallier la future perte des arbres-gîtes repérés en bordure de chemin pédestre, il est nécessaire de préparer un réseau de remplaçants, en intégrant des arbres secs présentant déjà des écorces décollées, ou des jeunes arbres blessés avec des dégâts entraînant un écartement des écorces ou une pourriture. L'aide à un candidat potentiel de gîte peut aussi être soutenue par le dépressage dans l'environnement direct : l'apport de lumière et de chaleur peut augmenter l'attrait pour les pics (Meschede *et al.*, 2000).

Malgré la récente installation de nichoirs pour chiroptères forestiers au sein du parc de Saint-Pons, ils ne semblent pas pouvoir être considérés comme une alternative durable et efficace à la conservation des cavités naturelles. En effet, étant indépendants de la structure des boisements, ils ne peuvent garantir des conditions microclimatiques optimales pour les chiroptères (Meschede *et al.*, 2000). Cependant, selon Petit (2005), mesurer la probabilité de colonisation des gîtes artificiels dans des forêts par le Murin de Bechstein semble pertinent.

Une des propositions pour détecter les arbres dominants et les plus âgés des peuplements du parc de Saint-Pons serait d'utiliser le LiDAR, afin de préserver ces arbres précieux (Fabianek *et al.*, 2015). En outre, il est important de relier les zones de sénescence des arbres par une trame de bois mort proche des arbres-gîtes et des gîtes connus.

7.3.1.2 STRUCTURATION DU PAYSAGE : BOIS MORT ET ÉCLAIRCISSEMENT

Le bois mort, source d'insectes et donc de nourriture pour les chauves-souris mais aussi pour des insectes saproxyliques capables de former des gîtes dont elles dépendent (Dajoz, 1998) est essentiel pour la conservation des Murin de Bechstein. Russo *et al.* (2004) suggèrent de conserver un îlot de un à trois hectares d'arbres morts et/ou à cavités pour cent hectares, ce nombre est donc à mettre en proportion à la superficie du parc de Saint-Pons. Le bois mort, qu'il soit au sol ou sur pied, présente des avantages distincts. Le bois mort au sol permet de dégager l'entrée du sous-étage arboricole, facilitant ainsi les déplacements des chauves-souris à travers les corridors sous la canopée. En revanche, le bois mort sur pied offre des gîtes potentiels pour divers individus, contribuant à la diversité des habitats disponibles.

Une autre possibilité intéressante serait d'enrichir le territoire de chasse du Murin de Bechstein en favorisant le développement du sous-étage et de l'étage intermédiaire avec une couverture végétale d'environ 20-30%. Cela peut être réalisé en éclaircissant la strate des houppiers pour augmenter la pénétration de la lumière, ce qui stimule la croissance du sous-étage (Meschede *et al.*, 2000).

7.3.1.3 GESTION DES POINTS D'EAU ET DES COURS D'EAU

Les points et cours d'eau, tels que les bassins situés à proximité du parc, doivent être préservés en procédant uniquement à des tailles sanitaires des arbres surplombant les berges et des branches. En effet, le bois en bordure des rivières et des points d'eau favorise l'augmentation de l'habitat terrestre pour les insectes adultes (Knight & Bottorff, 1981). Concernant le Torrent du Fauge, les interventions sylvicoles majeures doivent être limitées à une distance minimale de dix mètres des berges afin d'éviter de perturber l'intégrité des berges.

7.3.1.4 GESTION DES LISIÈRES ET DES MILIEUX OUVERTS

Les lisières jouent un rôle important en tant qu'écotone (Forman & Baudry, 1984). Il est nécessaire de les étager et de les complexifier de manière hétérogène, en incluant des essences autochtones pour attirer une diversité d'insectes. Une ceinture buissonnante doit également être maintenue. Les milieux ouverts intra-forestiers ne doivent en aucun cas être fermés ; il faut éviter d'y planter des essences, les entretenir par fauchage ou broyage tardif (après le 1er octobre pour protéger les espèces), tous les deux à cinq ans, en alternant les bandes (Chaudron *et al.*, 2016).

7.3.1.5 SURVEILLANCE DES BÂTIMENTS-GÎTES

Enfin, il est crucial de surveiller l'état des bâtiments-gîtes, notamment la Chapelle Saint-Martin, et de poursuivre le suivi annuel de la colonie. Ces informations pourront être utilisées dans des études pour identifier d'éventuelles tendances. Il est également important de mettre en œuvre des mesures supplémentaires pour prévenir les perturbations causées par le bruit des passants et les incivilités, en complément des actions préventives déjà établies.

Ces mesures intégrées permettront de soutenir et de protéger la colonie de Murin de Bechstein tout en respectant les besoins écologiques et en assurant la sécurité des visiteurs.

7.4 COMPARAISON

À première vue, cette comparaison ne semble pas indiquer que le modèle soit capable de prédire les emplacements des gîtes avec précision. En effet, ce n'est pas l'objectif principal de la modélisation MaxEnt, malgré une probabilité élevée d'occurrence pour l'arbre N2 dans le parc de Saint-Pons. Cette probabilité élevée s'explique simplement par la proximité de l'Abbaye, qui est classée comme « infrastructure » par le modèle, et par la présence à proximité d'un ancien arbre-gîte situé à seulement dix mètres.

La modélisation MaxEnt est davantage conçue pour évaluer le potentiel d'habitabilité de chaque pixel, avec une résolution de cinquante mètres. Selon le modèle, la zone à haute habitabilité pour le Murin de Bechstein se situe autour du gîte N2 en raison de sa proximité avec une infrastructure et un ancien gîte. Suivent ensuite la Chapelle Saint-Martin, et enfin l'arbre B118, avec le potentiel d'habitabilité le plus faible. Pour la gestion de l'habitat des Murin de Bechstein, il serait donc pertinent de se concentrer en priorité sur l'arbre B118, étant donné son faible potentiel d'habitabilité, son statut récent de gîte (2024) et sa position stratégique entre le gîte N2 et la Chapelle Saint-Martin.

D'un point de vue plus détaillé, il a également été observé que le Torrent du Fauge est mal cartographié dans les différentes couches SIG, surtout en ce qui concerne sa proximité avec l'arbre B118. Cela suggère que la modélisation pourrait sous-estimer le potentiel d'habitabilité en plaçant le torrent à une grande distance du cours d'eau.

Enfin, il est intéressant de noter que les zones à haute probabilité d'occurrence, reliant les gîtes et d'autres zones, correspondent également aux endroits où les équipes de télémétrie ont triangulé les activités des chiroptères, notamment lors de leurs activités nocturnes. Cela suggère que le modèle est efficace pour prédire les zones de territoire de chasse, confirmant ainsi son utilité pour la répartition des habitats.

7.4.1 LIMITATIONS DE L'ÉTUDE DE COMPARAISON

Il existe un nombre de points de gîte trop faible pour réaliser une comparaison robuste statistiquement entre les points de gîtes confirmés et la potentialité d'habitat déduit par la modélisation (celle de Bechstein en tout cas). Cette étude devrait être étendue et élargie car cet outil bien ajusté (ou paramétré), peut prédire des zones potentielles d'habitat et donc de préconisation de gestion intéressantes.

8 CONCLUSIONS

L'analyse des résultats de modélisation des différentes espèces de chiroptères dans la région PACA révèle plusieurs aspects cruciaux pour la compréhension de leur répartition écologique ainsi que des biais inhérents aux modèles.

Les résultats pour chaque espèce montrent une variabilité dans la précision des prévisions et soulignent l'importance d'intégrer des facteurs environnementaux spécifiques à chaque espèce. Pour la Barbastelle d'Europe, la modélisation confirme ses préférences pour les forêts fermées et les ripisylves, bien que la répartition observée dans le Var nécessite une interprétation plus nuancée. La modélisation du Murin de Natterer montre une certaine flexibilité écologique, confirmant ses préférences pour des habitats boisés tout en signalant une sous-utilisation des zones urbaines. La Pipistrelle de Nathusius se révèle fortement liée aux cours d'eau, mais l'influence de l'altitude sur sa répartition reste à clarifier. L'Oreillard roux et le Murin de Bechstein présentent des résultats contrastés, notamment en ce qui concerne leur affinité pour des habitats forestiers et les biais potentiels liés à la classification des infrastructures. Pour le Murin de Daubenton, la forte affinité avec les milieux aquatiques est confirmée, bien qu'une distinction plus précise entre types de zones aquatiques soit nécessaire. Enfin, le modèle pour l'Oreillard montagnard présente quelques limites dues à un échantillonnage limité, nécessitant des améliorations pour affiner les prévisions.

Les biais identifiés, tels que l'influence des infrastructures routières et la classe « infrastructures » dans le facteur d'occupation du sol, ainsi que la sous-représentation de certaines espèces dans les données acoustiques, mettent en lumière les défis associés à l'utilisation de modèles de distribution d'habitat comme MaxEnt. Ces biais suggèrent qu'une approche plus fine et des ajustements méthodologiques sont nécessaires pour améliorer la précision des prévisions.

Les recommandations pour la gestion et la conservation des chiroptères, notamment pour la colonie de Murin de Bechstein, mettent en avant des actions concrètes telles que la préservation des arbres à cavités ainsi que la préservation d'arbres d'avenir qui pourront à l'avenir être potentiellement favorables aux chiroptères, la gestion du bois mort, la protection des points d'eau, et l'amélioration de la gestion des lisières et des milieux ouverts. Ces mesures visent à soutenir et à protéger les habitats vitaux pour les chauves-souris tout en respectant les besoins écologiques spécifiques de chaque espèce.

En résumé, bien que la modélisation MaxEnt fournisse une compréhension précieuse sur les préférences écologiques des chiroptères dans la région PACA, elle doit être interprétée avec prudence en tenant compte des biais identifiés et des limites inhérentes aux données disponibles. Pour une conservation efficace, il est essentiel d'intégrer ces résultats dans un cadre de gestion adaptatif et de poursuivre les efforts de prospection et de collecte de données pour améliorer continuellement notre compréhension des besoins écologiques des chiroptères.

9 PERSPECTIVES DU TRAVAIL

Du 5 au 14 août 2024, une seconde campagne de télémétrie a été menée à L'Epine (05) sous la direction du GCP. Les résultats de cette campagne pourront servir de test pour les modélisations des autres espèces forestières présentées dans ce travail. Ce projet s'inscrit dans le cadre des mesures "Éviter, Réduire, Compenser" (ERC) liées au parc photovoltaïque d'ENGIE installé à L'Epine, où le GCP a déjà réalisé des relevés acoustiques et des inventaires d'arbres-gîtes potentiels. Cette année, le GCP poursuit ce volet ERC en confirmant des arbres-gîtes par télémétrie sur de nouvelles parcelles de compensation situées plus au nord des zones précédemment étudiées. L'accent est mis principalement sur les chiroptères forestiers comme l'Oreillard roux, l'Oreillard montagnard, le Murin de Daubenton, la Noctule de Leisler ainsi que le Murin de Natterer.

Ensuite, le travail de télémétrie réalisé à Gémenos a permis d'évaluer les connaissances actuelles sur la colonie et de suivre l'évolution de son effectif par rapport aux études précédentes. Le travail de compilation des données non saisies par rapport aux études antérieures a été effectué. Ces informations seront intégrées et synthétisées dans un rapport ultérieur à soumettre au département des Bouches-du-Rhône. Ce rapport fera notamment références aux résultats de la télémétrie menée en 2024 ainsi que des mesures de gestions à proposées.

9.1 SUGGESTIONS POUR DES ÉTUDES ULTÉRIEURES

Une première amélioration consisterait à distinguer les structures isolées, comme les fermes ou les petites installations industrielles, des tissus urbains plus denses et continus. Cette distinction permettrait de mieux comprendre comment les chiroptères interagissent avec différents types d'infrastructures, par exemple, en révélant leur tendance à éviter les zones urbaines denses tout en exploitant des structures isolées pour se reposer ou se nourrir. En affinant ainsi les modèles, il deviendrait possible d'identifier des corridors écologiques qui facilitent le déplacement des chiroptères à travers des paysages fragmentés par les activités humaines.

En outre, il est crucial de réaliser des études de répartition de manière plus homogène à l'échelle de la région PACA. Une approche plus uniformisée permettrait de surmonter les biais liés à une collecte de données inégale dans la modélisation MaxEnt, souvent concentrée dans certaines zones géographiques. En élargissant les études à l'ensemble de la région, les modèles de distribution pourraient offrir une vue plus complète et plus représentative des préférences écologiques des différentes espèces de chiroptères. Malheureusement, les études du Groupe Chiroptères de Provence sont liées à l'occupation humaine et à la densité des activités donc il existe peu d'études en altitude, dans des milieux reculés, etc.

L'intégration de ces couches supplémentaires et l'homogénéisation des études de répartition contribueraient ainsi à une meilleure compréhension des interactions entre les chiroptères et leur environnement dans la région PACA, et à la mise en place de stratégies de conservation plus efficaces et adaptées aux réalités locales.

DESCRIPTIF DU TRAVAIL RÉALISÉ PAR L'ÉTUDIANT

Dans le cadre de ce travail de fin d'étude, l'étudiant a contribué de manière significative à plusieurs aspects du travail, allant de la recherche initiale à l'analyse des résultats, il est également l'auteur de ce manuscrit.

BIBLIOGRAPHIE ET RECHERCHE AUTONOME

L'étudiant a débuté par la revue de la bibliographie de base fournie par le Groupe Chiroptères de Provence (GCP), portant sur le sujet des télémétries. En complément, il a mené des recherches autonomes pour enrichir la compréhension du sujet, en consultant des sources complémentaires et en approfondissant les connaissances nécessaires.

MODÉLISATION MAXENT

L'étudiant a pris en charge l'intégralité du processus de modélisation. Cela a inclus la recherche de données pertinentes, la réflexion sur les méthodologies à adopter, la mise en exécution des modèles, et la rédaction des résultats. Le GCP a donné accès à leur plateforme DBChiroGCP pour la réalisation des dépôts de données à la suite des télémétries. L'étudiant a proposé à son maître de stage d'utiliser cette source de points de présence pour réaliser les modélisations. Il a ainsi réalisé tout ce qui est mentionné dans le matériel et la méthode. L'étudiant a également élaboré les codes R nécessaires à l'analyse des données fournies par MaxEnt, en utilisant ce logiciel pour la modélisation des habitats, et a mis en page les résultats sur R. Parallèlement, il a assisté une autre stagiaire en lui expliquant le fonctionnement de MaxEnt en vue de son propre mémoire.

TÉLÉMÉTRIES DIURNES

L'étudiant a pris en charge l'organisation de la télémétrie de Gémenos ainsi que celle de L'Épine (dont la mention est en perspective de ce travail). Cette responsabilité incluait la gestion des aspects logistiques en amont, pendant (du 1er au 11 juillet à Gémenos et du 5 au 14 août à L'Épine), et après les campagnes de terrain. Il a coordonné l'ensemble des interactions avec les bénévoles, géré les aspects liés au logement (à l'exception de l'aspect financier), et assuré la communication avec les techniciens de l'ONF pour obtenir les autorisations nécessaires pour circuler dans les zones DFCI, ainsi qu'avec le gestionnaire du parc pour la télémétrie de Gémenos.

Sur le terrain, l'étudiant a exercé une autonomie totale et a pu encadrer et gérer un groupe de bénévoles en collaboration avec les chargés d'études sur place, qui s'alternaient durant les études télémétriques. Le matériel de télémétrie étant fourni par le GCP, il a veillé à vérifier son état et à préparer les affaires nécessaires pour le terrain, notamment en établissant des cartes de déplacement avec des points hauts théoriques, en réalisant un fascicule de terrain pour faciliter la prise de données, et en mettant en place des moyens de contact avec les bénévoles. Une bibliothèque photographique a été constituée pour le projet de L'Épine avec son drone personnel et sa caméra en vue du prochain rapport dont il aura la rédaction, tandis qu'à Gémenos, la sensibilisation auprès du public a été menée sous son initiative. En aval de chaque télémétrie, des documents synthétiques des informations et des suivis par radiopistage ont été réalisés par l'étudiant.

RÉDACTION

L'étudiant a réalisé toute la réflexion et la rédaction de l'analyse des données ainsi que de sa discussion. Il a pris en charge l'intégralité de la mise en page du travail, en veillant à une présentation claire et professionnelle de l'ensemble du manuscrit. Une relecture du manuscrit a été effectuée en août 2024 par le promoteur académique, Philippe Lejeune, et le chargé d'étude, Aurélien Siraud. Des recommandations et des corrections ont été proposées par Aurélien Siraud et Philippe Lejeune en août 2024.

BIBLIOGRAPHIE

- Aarts, G., Fieberg, J., Matthiopoulos, J., 2012. Comparative interpretation of count, presence–absence and point methods for species distribution models. *Methods in Ecology and Evolution* 3, 177–187. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2011.00141.x>
- Aidoo, O.F., Souza, P.G.C., da Silva, R.S., Júnior, P.A.S., Picanço, M.C., Osei-Owusu, J., Sétamou, M., Ekesi, S., Borgemeister, C., 2022. A machine learning algorithm-based approach (MaxEnt) for predicting invasive potential of *Trioza erytrae* on a global scale. *Ecological Informatics* 71, 101792. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101792>
- Alberdi, A., Garin, I., Aizpurua, O., Aihartza, J., 2012. The Foraging Ecology of the Mountain Long-Eared Bat *Plecotus macrobullaris* Revealed with DNA Mini-Barcodes. *PLOS ONE* 7, e35692. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035692>
- Andrews H.L. *et al.* (coord.) 2013. *Bat tree habitat key*. AÉcol, Bridgwater.
- Arthur L. & Lemaire M. 2021. *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse : Troisième édition*. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 592 p.
- Archaux F., Tillon L., Fauvel B., Martin H. 2013. Foraging habitat use by bats in a large temperate oak forest: Importance of mature and regeneration stands. *Le Rhinolophe* 19: 47–58.
- Barataud M. 2005b. Fréquentation des paysages sub-alpins par des chiroptères en activités de chasse. *Le Rhinolophe* 17: 11–22.
- Barataud M. 2005c. Relationship of *Barbastella barbastellus* (Schreber, 1774) sonar with its habitat and prey. In 5th European Bat Detector Workshop (ed M.e.c. Barataud), Forêt de Tronçais - Allier (France). *Le Rhinolophe* 17: 87–100.
- Barataud M., Demontoux D., Favre P., Giosa S., Grandadam J. 2013. Bioévaluation des peuplements de mélèze commun (*Larix decidua*) dans le Parc national du Mercantour, par l'étude des Chiroptères en activité de chasse. *Le Rhinolophe* 19: 59–86.
- Barataud M., Giosa S. 2012. *Biodiversité des Chiroptères et gestions forestières en Limousin*. GMHL, Limoges.
- Barataud M., Demontoux D., Giosa S. 2014. Fréquentation des prairies de fauche par les Chiroptères en chasse dans les Alpes du sud. *Le Vespère* 3: 195–208.
- Barclay R.M.R., Kurta A. 2007. Ecology and behavior of bats roosting in tree cavities and under bark. In *Bats in forests - Conservation and management*. Lacki, M.J., Hayes, J.P., Kurta, A. (Eds.), The Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 17–59.
- Beguier G.-A. 2015. *Étude de la seule colonie de reproduction de Murin de Bechstein (Myotis bechsteinii) connue dans les Bouches-du-Rhône*. (Mémoire de master, Université de Perpignan Via Domitia).
- Bensettiti, F., Gaudillat, V., & (coord) 2002. *Espèces animales MNHN - SPN*, Paris.
- Bernes, C., Bullock, J.M., Jakobsson, S., Rundlöf, M., Verheyen, K., Lindborg, R., 2017. How are biodiversity and dispersal of species affected by the management of roadsides? A systematic map. *Environmental Evidence* 6, 24. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0103-1>

- Biegala, L., Rideau, C., 2012. Comment étudier la migration de la Pipistrelle de Nathusius et des autres chiroptères, dans l'Ouest de la France ?
- Bielsa, S., Bretaud, J.-F., Carsignol, J., Dadu, L., Nowicki, F., 2008. Routes et chiroptères - Etat des connaissances - rapport bibliographique 253.
- Boonman, M., 2000. Roost selection by noctules (*Nyctalus noctula*) and Daubenton's bats (*Myotis daubentonii*). *Journal of Zoology* 251, 385–389. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2000.tb01089.x>
- Bodin J. (coord.) 2011. *Les chauves-souris de Midi-Pyrénées : répartition, écologie, conservation*. Conservatoire Régional des Espaces Naturels de Midi-Pyrénées – Groupe Chiroptères de Midi-Pyrénées, Toulouse, 256 p.
- Bruno, J.F., Stachowicz, J.J., Bertness, M.D., 2003. Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends in Ecology & Evolution* 18, 119–125. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)00045-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)00045-9)
- Burnham, K.P., Anderson, D.R., 2004. Multimodel Inference: Understanding AIC and BIC in Model Selection. *Sociological Methods & Research* 33, 261–304. <https://doi.org/10.1177/0049124104268644>
- Chaudron, C., Chauvel, B., Isselin-Nondedeu, F., 2016. Effects of late mowing on plant species richness and seed rain in road verges and adjacent arable fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 232, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.047>
- Chust, G., Villarino, E., McLean, M., Mieszkowska, N., Benedetti-Cecchi, L., Bulleri, F., Ravaglioli, C., Borja, A., Muxika, I., Fernandes-Salvador, J.A., Ibaibarriaga, L., Uriarte, A., Revilla, M., Villate, F., Iriarte, A., Uriarte, I., Zervoudaki, S., Carstensen, J., Somerfield, P.J., Queirós, A.M., McEvoy, A.J., Auber, A., Hidalgo, M., Coll, M., Garrabou, J., Gómez-Gras, D., Linares, C., Ramírez, F., Margarit, N., Lepage, M., Dambrine, C., Lobry, J., Peck, M.A., de la Barra, P., van Leeuwen, A., Rilov, G., Yeruham, E., Brind'Amour, A., Lindegren, M., 2024. Cross-basin and cross-taxa patterns of marine community tropicalization and deborealization in warming European seas. *Nat Commun* 15, 2126. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46526-y>
- Choquené G.-L. 2006. *Les chauves-souris de Bretagne*. Pen Ar Bed, 197/198: 1–68.
- Dietz C. & Kiefer A. 2015. *Chauves-souris d'Europe : connaître, identifier, protéger*. Delachaux et Niestlé, Paris, 399 p.
- Douguedroit, A., 1976. Les paysages forestiers de Haute-Provence et des Alpes-Maritimes: Géographie, écologie, histoire. EdiSud.
- Dormann, C., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Diekötter, T., García Márquez, J., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P., Münkemüller, T., Mcclean, C., Osborne, P., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A., Zurell, D., Lautenbach, S., 2013. Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36, 27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>
- Dudík, M., Phillips, S., Schapire, R., 2004. Performance Guarantees for Regularized Maximum Entropy Density Estimation, *Lecture Notes in Computer Science*. https://doi.org/10.1007/978-3-540-27819-1_33
- Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., J. Hijmans, R., Huettmann, F., R. Leathwick, J., Lehmann, A., Li, J., G. Lohmann, L., A. Loiselle, B., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., McC. M. Overton, J., Townsend Peterson, A., J. Phillips, S.,

- Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., E. Schapire, R., Soberón, J., Williams, S., S. Wisz, M., E. Zimmermann, N., 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, 129–151. <https://doi.org/10.1111/j.2006.0906-7590.04596.x>
- Elith, J., Leathwick, J.R., Hastie, T., 2008. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* 77, 802–813. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2008.01390.x>
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y.E., Yates, C.J., 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions* 17, 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Entwistle, A.C., Racey, P.A., Speakman, J.R., 1997. Habitat exploitation by a gleaning bat, *Plecotus auritus*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 351, 921–931. <https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0085>
- Entwistle A.C., Racey P.A., Speakman J.R. 1997. Roost selection by the brown long-eared bat *Plecotus auritus*. *Journal of Applied Ecology* 34: 399–408.
- EUROBATS. 1991. *Agreement on the Conservation of Populations of European Bats*. Bonn, Germany: UNEP/EUROBATS.
- European Environment Agency., 2013. European bat population trends: a prototype biodiversity indicator. Publications Office, Luxembourg.
- Fabianek, F., Simard, M.A., Racine, E.B., Desrochers, A., 2015. Selection of roosting habitat by male *Myotis* bats in a boreal forest. *Can. J. Zool.* 93, 539–546. <https://doi.org/10.1139/cjz-2014-0294>
- Fielding, A.H., Bell, J.F., 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Envir. Conserv.* 24, 38–49. <https://doi.org/10.1017/S0376892997000088>
- Flaquer, C., Puig-Montserrat, X., Goiti, U., Vidal, F., Curcó, A., Russo, D., 2009. Habitat selection in *Nathusius' pipistrelle* (*Pipistrellus nathusii*): the importance of wetlands. *Acta Chiropterologica* 11, 149–155. <https://doi.org/10.3161/150811009X465767>
- Fonderflick, J., Azam, C., Brochier, C., Cosson, E., Quékenborn, D., 2015. Testing the relevance of using spatial modeling to predict foraging habitat suitability around bat maternity: A case study in Mediterranean landscape. *Biological Conservation* 192, 120–129. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.09.012>
- Fourcade, Y., Engler, J.O., Rödder, D., Secondi, J., 2014. Mapping Species Distributions with MAXENT Using a Geographically Biased Sample of Presence Data: A Performance Assessment of Methods for Correcting Sampling Bias. *PLOS ONE* 9, e97122. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0097122>
- Forman, R.T.T., Baudry, J., 1984. Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. *Environmental Management* 8, 495–510. <https://doi.org/10.1007/BF01871575>
- Fraixedas, S., Galewski, T., Ribeiro-Lopes, S., Loh, J., Blondel, J., Fontès, H., Grillas, P., Lambret, P., Nicolas, D., Olivier, A., Geijzendorffer, I.R., 2019. Estimating biodiversity changes in the Camargue wetlands: An expert knowledge approach. *PLOS ONE* 14, e0224235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224235>
- Franklin, J., 2010. *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*, Ecology, Biodiversity and Conservation. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511810602>

- Guisan, A., Zimmermann, N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135, 147–186. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Hanley, J.A., McNeil, B.J., 1982. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology* 143, 29–36. <https://doi.org/10.1148/radiology.143.1.7063747>
- Haquart, A., Bayle, P., Cosson, E., Rombaut, D., 1997. Chiroptères observés dans les départements des Bouches-du-Rhône et du Var. *Faune de Provence (C.E.E.P.)* 24.
- Hirzel, A.H., Le Lay, G., 2008. Habitat suitability modelling and niche theory. *Journal of Applied Ecology* 45, 1372–1381. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x>
- Hutchinson, G.E., 1957. Concluding Remarks. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol* 22, 415–427. <https://doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>
- Jaberg, C., Bohnenstengel, T., 2006. Utilisation du milieu forestier par les chauves-souris (Mammalia: Chiroptera) du canton de Neuchâtel – implications pour la gestion sylvicole. *Schweiz. Z. Forstwes.*
- Jakobsson, S., Bernes, C., Bullock, J.M., Verheyen, K., Lindborg, R., 2018. How does roadside vegetation management affect the diversity of vascular plants and invertebrates? A systematic review. *Environmental Evidence* 7, 17. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0129-z>
- Janeau, G., 1998. Localisation de balises radio-émettrices VHF portées par des mammifères terrestres : principes, précision, limites et contraintes. *Arvicola* 11.
- Jean-Pierre C. 2017. *Étude des caractéristiques des gîtes de reproduction sélectionnés par une colonie atypique de Murin de Bechstein en milieu méditerranéen.* (Mémoire de master, Université de Poitiers).
- Juste, J., Ruedi, M., Puechmaille, S.J., Salicini, I., Ibáñez, C., 2019. Two New Cryptic Bat Species within the *Myotis nattereri* Species Complex (Vespertilionidae, Chiroptera) from the Western Palaearctic. *acta* 20, 285–300. <https://doi.org/10.3161/15081109ACC2018.20.2.001>
- Karger, D.N., Wilson, A.M., Mahony, C., Zimmermann, N.E., Jetz, W., 2021. Global daily 1 km land surface precipitation based on cloud cover-informed downscaling. *Sci Data* 8, 307. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01084-6>
- Kenward, R.E., 2000. *A Manual for Wildlife Radio Tagging*, 2nd ed.
- Kerth, G., Melber, M., 2009. Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. *Biological Conservation* 142, 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.10.022>
- Knight, A., Bottorff, R., 1981. The importance of riparian vegetation to stream ecosystems.
- Kunz T.H., Lumsden L.F. 2003. Ecology of cavity and foliage roosting bats. In *Bat ecology*. Kunz T.H., Fenton M.B. (Eds.), The University of Chicago Press, Chicago - London, pp. 3–89.
- Langton, S.D., Briggs, P.A., Haysom, K.A., 2010. Daubenton's bat distribution along rivers – developing and testing a predictive model. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20, S45–S54. <https://doi.org/10.1002/aqc.1077>
- Levrel, H., n.d. Quels indicateurs pour la gestion de la biodiversité ?, *Cahiers de l'IFB*. Institut Français de la Biodiversité, Paris.
- LPO PACA, GECM & GCP 2016. *Les Mammifères de Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Biotope, Mèze, 344 p.

-
- Merow, C., Smith, M.J., Edwards Jr, T.C., Guisan, A., McMahon, S.M., Normand, S., Thuiller, W., Wüest, R.O., Zimmermann, N.E., Elith, J., 2014. What do we gain from simplicity versus complexity in species distribution models? *Ecography* 37, 1267–1281. <https://doi.org/10.1111/ecog.00845>
- Merow, C., Smith, M.J., Silander Jr, J.A., 2013. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography* 36, 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
- Meschede, A., Heller, K.-G., Leitl, R., 2000. Ökologie und Schutz von Fledermäusen in Wäldern: unter besonderer Berücksichtigung wandernder Arten, Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Meschede A., Heller K.-G. 2003. *Ecologie et protection des chauves-souris en milieu forestier. Le Rhinolophe* 16: 1–248.
- Müller J., Mehr M., Bässler C., Fenton M.B., Hothorn T., Pretzsch H., Klemmt H.-J., Brandl R. 2012. Aggregative response in bats: Prey abundance versus habitat. *Oecologia* 169: 673–684.
- Muscarella, R., Galante, P.J., Soley-Guardia, M., Boria, R.A., Kass, J.M., Uriarte, M., Anderson, R.P., 2014. ENMeval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods in Ecology and Evolution* 5, 1198–1205. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12261>
- Nowicki, F., 2015. Chiroptères et infrastructures de transport 172.
- O'Mara, M.T., Wikelski, M., Dechmann, D.K.N., 2014. 50 years of bat tracking: device attachment and future directions. *Methods in Ecology and Evolution* 5, 311–319. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12172>
- Parsons, K.N., Jones, G., 2003. Dispersion and habitat use by *Myotis daubentonii* and *Myotis nattereri* during the swarming season: implications for conservation. *Animal Conservation* 6, 283–290. <https://doi.org/10.1017/S1367943003003342>
- Pénicaud, P., 2000. Chauves-souris arboricoles en Bretagne (France) : typologie de 60 arbres-gîtes et éléments de l'écologie des espèces observées.
- Peterson, A., Soberón, J., Pearson, R., Anderson, R., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araújo, M., 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*. <https://doi.org/10.23943/princeton/9780691136868.001.0001>
- Peterson, A.T., 2006. Uses and Requirements of Ecological Niche Models and Related Distributional Models. *Biodiversity Informatics* 3. <https://doi.org/10.17161/bi.v3i0.29>
- Peterson, A.T., Soberón, J., Pearson, R.G., Anderson, R.P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araújo, M.B., 2011. *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.23943/princeton/9780691136868.001.0001>
- Petit, E., 2005. Colonisation et dispersion chez le Murin de Bechstein : Sensibilité à la fragmentation du milieu forestier.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Phillips, S.J., Research, T., n.d. A Brief Tutorial on Maxent.
- Pulliam, H.R., 1988. Sources, Sinks, and Population Regulation. *The American Naturalist* 132, 652–661.

- Radosavljevic, A., Anderson, R.P., 2014. Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting and evaluation. *Journal of Biogeography* 41, 629–643. <https://doi.org/10.1111/jbi.12227>
- Ranius T., Niklasson M., Berg N. 2009. Development of tree hollows in pedunculate oak (*Quercus robur*). *For. Ecol. Manage.* 257: 303–310.
- Robert L. & Tapiero A. 2014. *Plan National d'Actions Chiroptères (2009-2013) – Bilan technique final*. Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels. MEDDE/DREAL Franche-Comté, 123 p. et Annexes.
- Roberts, D.R., Bahn, V., Ciuti, S., Boyce, M.S., Elith, J., Guillera-Aroita, G., Hauenstein, S., Lahoz-Monfort, J.J., Schröder, B., Thuiller, W., Warton, D.I., Wintle, B.A., Hartig, F., Dormann, C.F., 2017. Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography* 40, 913–929. <https://doi.org/10.1111/ecog.02881>
- Rombaut, D., Chevallier, J.-C., Rombaut, D., Chevallier, J.-C., 1996. Discovery of Bechsteins bat *Myotis bechsteini* Kuhl, 1818 in the Maures massif - Var Découverte du murin de Bechstein *Myotis bechsteini* Kuhl, 1818 dans le massif des Maures - Var. *Faune de Provence* 17, 114–114.
- Roux, M., Redon, M., Vincent, S., Tillon, L., Bouix, T., Archaux, F., Luque, S., 2016a. Affiche Mochab.
- Roux, M., Redon, M., Vincent, S., Tillon, L., Bouix, T., Archaux, F., Luque, S., 2016b. La modélisation spatiale des habitats et des corridors : un outil pour la conservation et la gestion des chauves-souris. *Symbioses* 28–34.
- Russo D., Cistrone L., Garonna A.P., Jones G. 2010. Reconsidering the importance of harvested forests for the conservation of tree-dwelling bats. *Biodiv. Conserv.* 19: 2501–2515.
- Russo, D., Cistrone, L., Jones, G., Mazzoleni, S., 2004. Roost selection by barbastelle bats (*Barbastella barbastellus*, Chiroptera: Vespertilionidae) in beech woodlands of central Italy: consequences for conservation. *Biological Conservation* 117, 73–81. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00266-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00266-0)
- Ruczynski I., Nicholls B., MacLeod C.D., Racey P.A. 2010. Selection of roosting habitats by *Nyctalus noctula* and *Nyctalus leisleri* in Bialowieza Forest—Adaptive response to forest management? *For. Ecol. Manage.* 259: 1633–1641.
- Sané R. 2020. *Les chauves-souris des Bouches-du-Rhône*. Groupe Chiroptères de Provence, 140 p.
- Sillero, N., 2011. What does ecological modelling model? A proposed classification of ecological niche models based on their underlying methods. *Ecological Modelling* 222, 1343–1346. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.01.018>
- Skalak S.L., Sherwin R.E., Brigham R.M. 2012. Sampling period, size and duration influence measures of bat species richness from acoustic surveys. *Methods in Ecology and Evolution* 3: 490–502.
- Smith T.L. 2006. A small scale study into the foraging habitat selection of *Myotis* and *Pipistrellus* spp. along the Forth & Clyde Canal, Scotland. *BaTML Publications* 3: 2–18.
- Soberón, J., 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters* 10, 1115–1123. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x>
- Soberón, J., Peterson, A., 2005. Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. *Biodiversity Informatics* 2. <https://doi.org/10.17161/bi.v2i0.4>

-
- Stahlschmidt P., Brühl C.A. 2012. Bats as bioindicators – the need of a standardized method for acoustic bat activity surveys. *Methods in Ecology and Evolution* 3: 503–508.
- Street, G.M., 2020. Habitat Suitability and Distribution Models with Applications in R. Antoine Guisan, Wilfried Thuiller, and Niklaus E. Zimmermann. 2017. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 462 pp. \$49.99 paperback. ISBN: 978-0-521-75836-9. *J Wildl Manag* 84, 1212–1213. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21868>
- Tapiero A., Borel, C., Dervaux, A., Gresette, S., Hafa, J., Julien, J-F., Marmet, J., Ouvrard, E., Roue. S., Tillon, L. 2014. Diagnostic des 34 espèces de Chiroptères. Bilan technique final. Fédération des Conservatoires d’Espaces Naturels. MEDDE/DREAL Franche-Comté.
- Tillon, L., 2015. Utilisation des gîtes et des terrains de chasse par les chiroptères forestiers, propositions de gestion conservatoire (phdthesis). Université Paul Sabatier - Toulouse III.
- Tillon, L., 2008. Inventorier, étudier ou suivre les chauves-souris en forêt, Conseils de gestion forestière pour leur prise en compte. Synthèse des connaissances. 88.
- Todd, V.L.G., Williamson, L.D., 2019. Habitat usage of Daubenton’s bat (*Myotis daubentonii*), common pipistrelle (*Pipistrellus pipistrellus*), and soprano pipistrelle (*Pipistrellus pygmaeus*) in a North Wales upland river catchment. *Ecology and Evolution* 9, 4853–4863. <https://doi.org/10.1002/ece3.5085>
- Tvrtković, N., Pavlinić, I., Haring, E., 2005. Four species of long-eared bats (*Plecotus*, Geoffroy, 1818; *Mammalia*, *Vespertilionidae*) in Croatia: field identification and distribution 14.
- Tyre A.J., Tenhumberg B., Field S.A., Niejalke D., Parris K., Possingham H.P. 2003. Improving precision and reducing bias in biological surveys: Estimating false-negative error rates. *Ecological Applications* 13 (6): 1790–1801.
- Van der Meij, T., Van Strien, A.J., Haysom, K.A., Dekker, J., Russ, J., Biala, K., Bihari, Z., Jansen, E., Langton, S., Kurali, A., Limpens, H., Meschede, A., Petersons, G., Presetnik, P., Prüger, J., Reiter, G., Rodrigues, L., Schorcht, W., Uhrin, M., Vintulis, V., 2015. Return of the bats? A prototype indicator of trends in European bat populations in underground hibernacula. *Mammalian Biology, Special Issue: Bats as Bioindicators* 80, 170–177. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2014.09.004>
- Warren, D.L., Seifert, S.N., 2011. Ecological niche modeling in Maxent: the importance of model complexity and the performance of model selection criteria. *Ecological Applications* 21, 335–342. <https://doi.org/10.1890/10-1171.1>

ANNEXES

ANNEXE A : KERNEL 50 DE LA COLONIE DE MURIN DE BECHSTEIN DE GÉMENOS

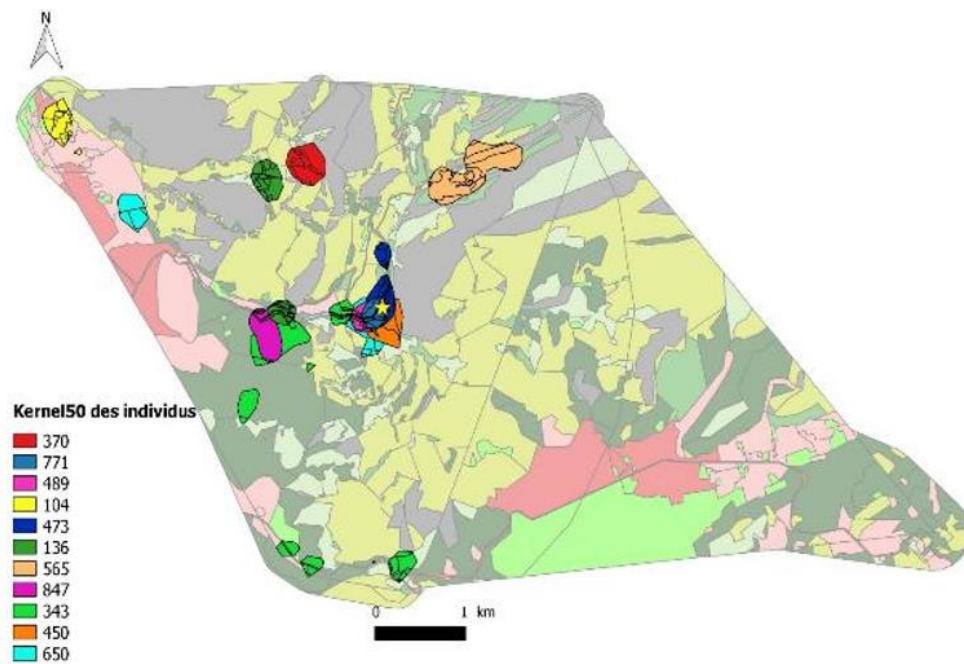


FIGURE 31 KERNEL 50 DE LA COLONIE DE MURIN DE BECHSTEIN DE GÉMENOS RÉALISÉ PAR BEGUIER (2015)

ANNEXE B : DISPOSITIFS DE CAPTURE À LA TÉLÉMÉTRIE DE GÉMENOS

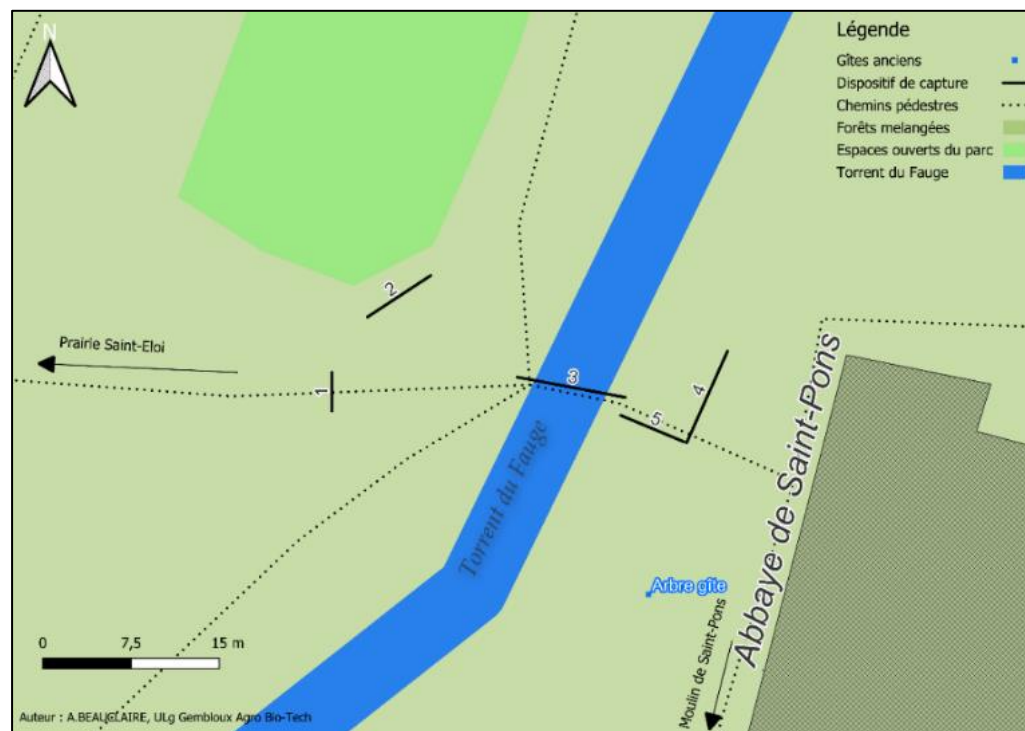


FIGURE 32 DISPOSITIFS DE CAPTURE DE LA TÉLÉMÉTRIE PROCHE DE L'ABBAYE DE SAINT-PONS (01-07-24)

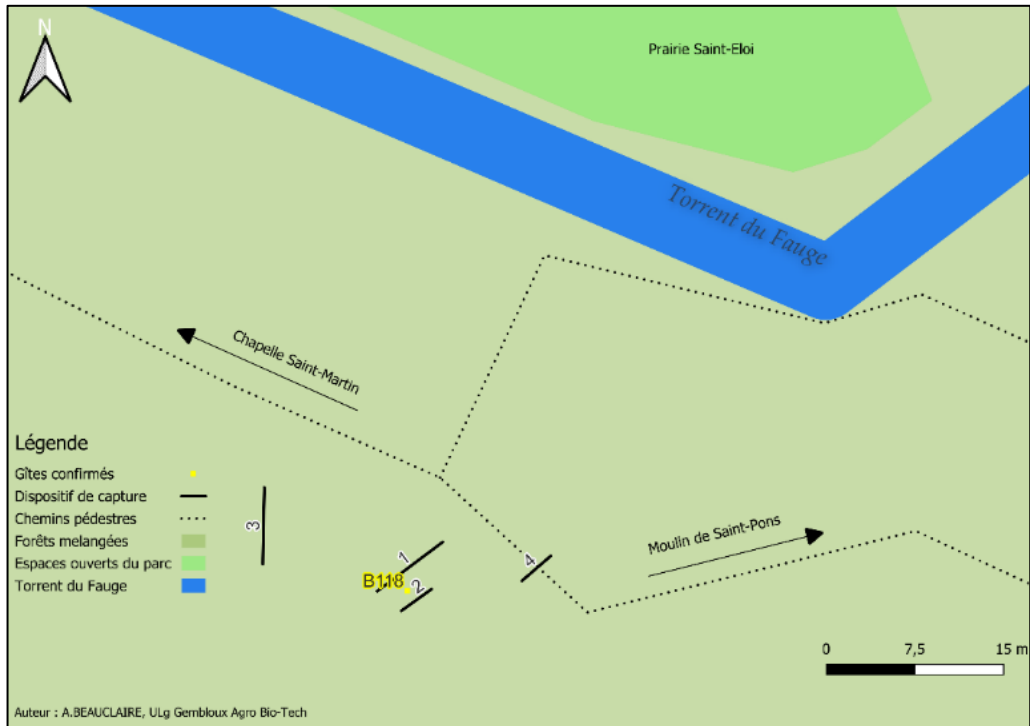


FIGURE 33 DISPOSITIFS DE CAPTURE DE LA TÉLÉMÉTRIE PROCHE DE L'ARBRE B118 (06-07-24)

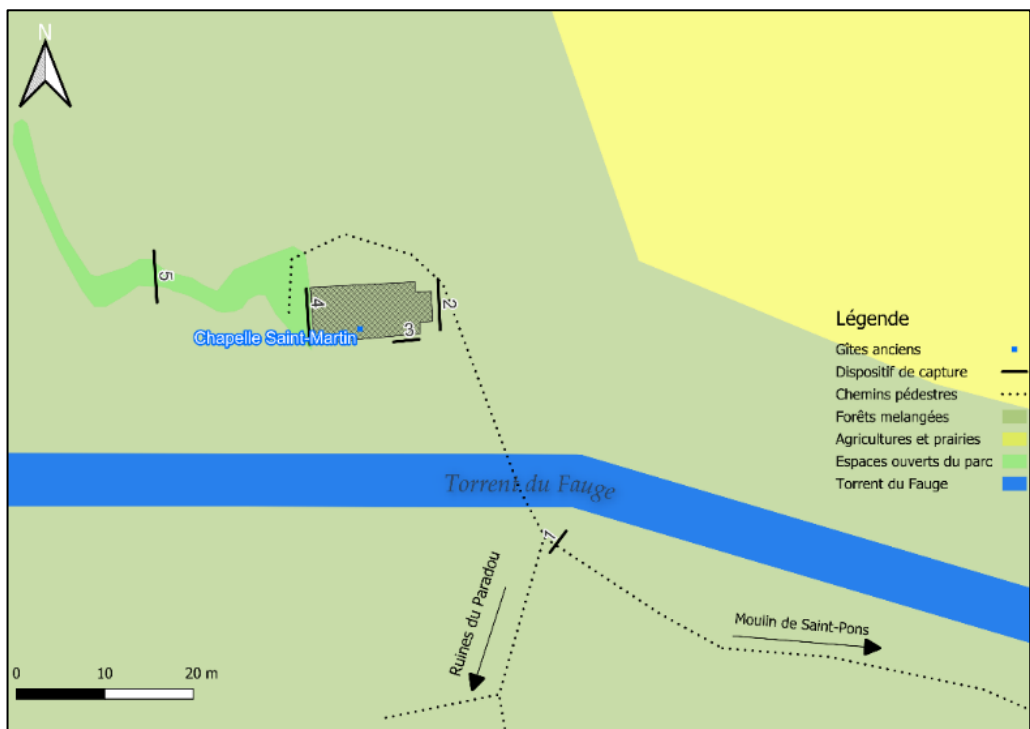


FIGURE 34 DISPOSITIFS DE CAPTURE DE LA TÉLÉMÉTRIE PROCHE DE LA CHAPELLE SAINT-MARTIN (01-07-24)

ANNEXE C : PHOTOGRAPHIES D'UN FILET JAPONAIS DISPOSÉ POUR UNE CAPTURE À L'ÉPINE (05)

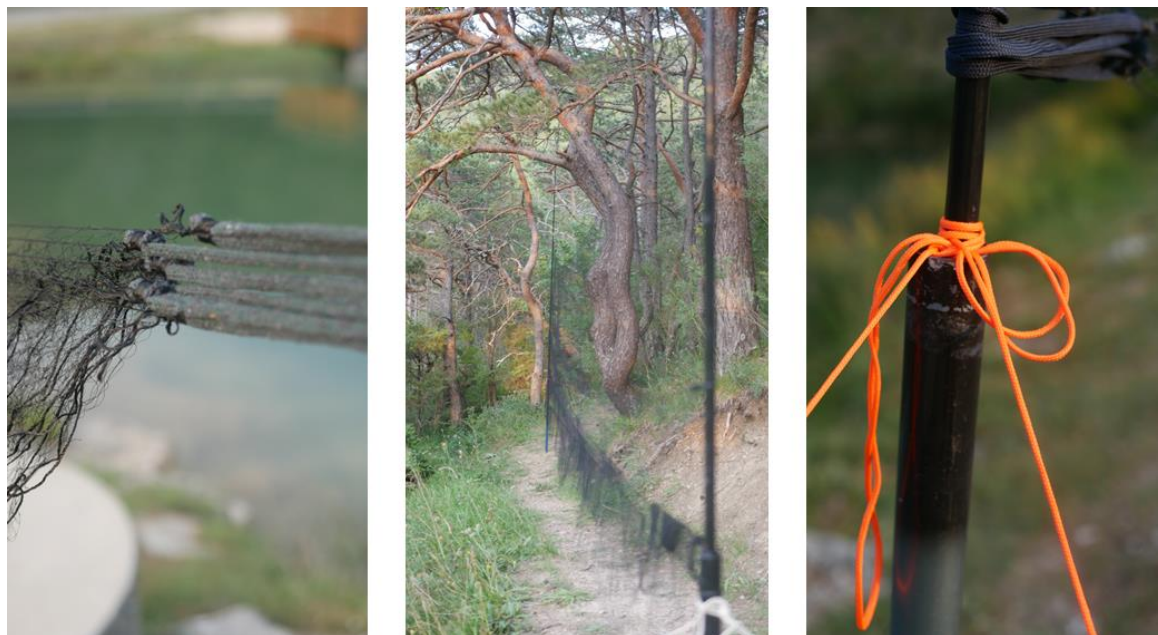


FIGURE 35 PHOTOS D'UN FILET DE CAPTURE LORSQUE LES CANNES NE SONT PAS MONTÉES

ANNEXE D : CARACTÉRISTIQUES DES INDIVIDUS CAPTURÉS ET ÉQUIPÉS

TABLEAU 6 BIOMÉTRIE DES INDIVIDUS CAPTURÉS ET ÉQUIPÉS

N°	Obs	Code	Heure	Taxon	Sexe	Avan-Doigt			Doigt			Taille		Tunique	Mam	Gesta	Glandes		Chin-	Usure	Âge				
		dispositif	capture			Bras	5	3	Pouce	Tibia	Pied	Poids	testicule				épididym	Vaginale				elles	tion	Taille	Coul.
A	1	LB	1	22H25	PIPPYG	M	29,4	40	59				5,3	T1	E0	Sombre			G1	Orange	F2		O	Ad	
	2	AS	5	23H05	PIPPYG	M	30,3	38	52				4,5	T1	E0	Sombre			G1	Orange	F2		O	Ad	
	3	AS	5	23H20	MYOSPA	M	39,6	65	57				7,7	T0	E0	Claire					F4		O	Ad	
	4	LB	1	23H35	MYOBEC	M	40,4	59	60				8,4	T0	E0	Claire					C1		O	Juv	
	5	LB	5	23H45	PLEAUS	F	39,2	54	71	7,1	19,5		8,8					M2				F2		Ad	
	6	AS	5	1H05	PIPPYG	M	32	41	57				4,7	T1	E0	Sombre						F2		U0	Ad
B	1	AE	1	21H40	HYPSAV	F	35,5	55	61		15	6	7,6								F2		U1	Ad	
	2	TM	1	21H50	PIPIPI	M	30,5	39	54				4,5	T1	E0					Gd1	Orange	F2		U1	Ad
	3	DQ	1	22H55	MYOBEC	F	43,1	58	69				9,3					M2						Ad	
	4	AE	5	2H45	PIPKUH	M	32,5	44	58,5				6	T2	E0	Claire			Gd1	Rose	F2		U2	Ad	
	5	TM	1	3H40	PIPIPI	M	30,2	40	56				4,5	T1	E0	Claire			Gd1	Rose	F2		U1	Ad	
C	1	AE	1	22H15	MYOBEC	M	41,7	53	65				7,4	T1	E0	Sombre			G1	Orange	F		U0	Juv	
	2	LB	1	21H45	MYOBEC	F	43,9	59	72				9,1					M2	G1	Orange	F2		U1	Ad	
	3	AE	1	00H10	MYOBEC	F	43,1	55	68				10,8					M1	G			F1		Ad	
	4	TD	1	00H20	MYOBEC	M	41,8	51	60				7,2	T0	E0	Sombre						F1	C2	U0	Juv
	5	TM	1	00H20	MYOBEC	M	40,9	51	50				7,2	T0	E0	Claire							C2	U1	Juv
	6	TM	1	00H40	MYOBEC	F	43,1	57	72				10,4					M2	G			F1	C0	U2	Ad
	7	AE	1	1H40	MYOBEC	M	42,7	53	63				8,2	T0	E0	Sombre						F0	C1	U1	Juv
	8	TD	1	1H40	MYOBEC	M	40,9	53	64				6,5	T0	E0							F2	C2	U1	Juv
	9	TM	1	1H40	NYCLEI	M	44,3	51	69				18	T2	E0	Claire			GD2	Orange	F2	C0	U1	Ad	
	10	TD	3	1H40	MYOBEC	F	43,8	58	79				10,2					M2				F2	C0	U2	Ad
	11	AE	1	2H25	MYOBEC	F	41,6	56	69				8,3					M2		GD2	Rose	F2		U1	Ad
	12	TM	3	2H40	MYOEMA	M	38	52	63				7,4	T0	E0	Claire						F2	C2	U1	Ad

Les chauves-souris équipées sont indiquées par des lignes blanches avec des numéros gras. Les fiches sont séparées selon le lieu et la date de capture : Lieu A, proche de l'ancien gîte platane ; Lieu B, proche de la chapelle Saint-Martin ; Lieu C, au niveau du platane B118. Voir schéma de capture dans l'Annexe B. Les observateurs des critères biométriques sont : AE (Alexia Etlin), LB (Laetitia Bantwell), TD (Théo Defrancqu), TM (Thomas Mathieu), et DQ (Delphine Quekenborn).

Les chauves-souris capturées sont classées selon les codes des dispositifs de capture, c'est-à-dire le filet dans lequel elles se sont prises. Ci-joint les abréviations des espèces des tableaux : PIPPYG (Pipistrelle pygmée), MYOSPA (Murin sp.A), MYOBEC (Murin de Bechstein), PLEAUS (Oreillard gris), HYPSAV (Vesper de Savi), PIPPIPI (Pipistrelle commune), PIPKUH (Pipistrelle de Kuhl), NYCLEI (Noctule de Leisler), et MYOEMA (Murin à oreilles échancrées).

ANNEXE E : SUIVI DES INDIVIDUS AU COURS DE LA TÉLÉMÉTRIE DE GÉMENOS

TABLEAU 7 RÉCAPITULATIF DU SUIVI DES INDIVIDUS ÉQUIPÉS

Australis	Bank.Memory	2.2	2.3	2.4	2.7	2.8	2.5	2.9	3.2	3.3	2.6	
	Fréquence émetteur	148.520	148.631	148.737	148.131	148.229	148.331	148.428	148.834	148.936	148.998	
Statut		PLEAUS F allaitante	MYOBEC Fallaitante	MYOBEC M juv	MYOBEC M juv	MYOBEC Fallaitante	MYOBEC F adulte	MYOBEC Fallaitante	MYOBEC M juv	MYOBEC Fallaitante	MYOBEC M juv	
Référence fiche de mesure		A5	B3	A4	C4	C10	C2	C6	C7	C11	C1	
Date	01-07-24	Capture et équipement										
	02-07-24	Secteur Collines Blanches/Falaise de la Galère	B118	N2								
	03-07-24	Falaise Collines Blanches	B118	N2								
	04-07-24	Falaise Collines Blanches		N2								
	05-07-24	Falaise Collines Blanches										
	06-07-24		B118		Capture et équipement							
	07-07-24		B118		B118	B118	Chapelle Saint- Martin	Secteur N2	B118	Chapelle Saint- Martin	B118	
	08-07-24				B118	B118	Chapelle Saint- Martin		B118		B118	
	09-07-24				B118	B118			B118		B118	
	10-07-24				B118	B118			B118			
	11-07-24				B118				B118			

Le suivi des individus entre les différents gîtes n'a révélé aucun schéma de déplacement particulier. Les défaillances des émetteurs ont empêché un suivi efficace des chioptères, limitant ainsi la possibilité d'interpréter en profondeur ces comportements.

ANNEXE F : RÉSULTATS DES COMPTAGES EN SORTIE DE GÎTE DURANT LA TÉLÉMÉTRIE

TABLEAU 8 COMPTAGES EN SORTIE DE GÎTE DE LA TÉLÉMÉTRIE DU PARC DE SAINT-PONS

Date	Localité	Effectif	Effectif soirée	Heure de début	Premier contact	Heure de fin
02-07-24	B118	14	14	21h15	21h38	22h15
	N2	0		21h30	N.A.	22h15
04-07-24	B118	38	38	21h10	21h34	22h45
08-07-24	B118	27	51	21H24	21h37	23h05
	Chapelle Saint-Martin	24		21h15	21h38	23h00
10-07-24	B118	29	62	21h20	21h36	22h04
	Chapelle Saint-Martin	17		21h20	21h35	23h00
	N2	16		21h16	21h42	22h14

Une population d'au moins soixante-deux individus a été dénombrée lors des comptages à la sortie des gîtes. Selon les communications de la gestionnaire du parc, la population totale est estimée à environ quatre-vingt individus.

ANNEXE G : FICHE DE L'ARBRE GÎTE N2

FICHE ENQUÊTE NATIONALE					
ARBRE-GÎTE A CHAUVES-SOURIS ARBORICOLES	(ne rien inscrire ci-dessus)				
Date de la rédaction : <input type="text" value="30/07/24"/> Important : une fiche par arbre-gîte Observateur / rédacteur (NOM, prénom) : SIRAUD Aurélien/ BEAUCLAIRE Antoine, Adresse : Tel : Fax : E-mail : antoinebeauclaire@outlook.com S'agit-il <input checked="" type="checkbox"/> d'(une) observation(s) personnelle(s) ? <input type="checkbox"/> d'un(de) témoignage(s) ? Cette donnée <input checked="" type="checkbox"/> a-t-elle fait l'objet d'une publication ? <input type="checkbox"/> est-elle citée dans un article ? <input type="checkbox"/> non Si oui, noter la référence bibliographique (*) Beauclaire, A. (2024). Répartition de chiroptères forestiers en région... ...Provence Alpes Côtes d'azur; modélisation et télémétrie diurne (Mémoire de master, Gembloux-Agro.Bio Tech) (*) Envoyer si possible, en même temps que la fiche, une copie de la publication ou des pages correspondantes.					
LOCALISATION					
Département (n°) : ..13.. Commune : Gémenos..... n° carte IGN (1/8° de 50000°) : <input type="text" value="3245 ET"/> Altitude : ..265..m. Statut foncier : Site <input type="checkbox"/> domanial <input type="checkbox"/> communal <input checked="" type="checkbox"/> privé <input type="checkbox"/> Autre, préciser : ENS..... <input type="checkbox"/> Ne sais pas					
CIRCONSTANCES DE LA DECOUVERTE DU GITE OCCUPE					
Date de la découverte : <input type="text" value="02"/> <input type="text" value="07"/> <input type="text" value="2024"/> <input type="checkbox"/> Cris audibles (révélant l'emplacement du gîte) <input type="checkbox"/> Abattage <input type="checkbox"/> Prospection (+ inspection des cavités favorables) <input type="checkbox"/> Sortie de gîte supposé (obs. + detect.) <input type="checkbox"/> Elagage <input type="checkbox"/> Suivi du trajet de chasse retour / détecteur <input type="checkbox"/> Marquage chimio-luminescent <input type="checkbox"/> Hasard <input type="checkbox"/> Vol tournoyant à l'aube (été : obs. + detect.) <input checked="" type="checkbox"/> Radio-pistage <input type="checkbox"/> Autre :					
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">ARBRE-GITE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;"> → Essence (si possible espèce) : <i>Platan hybride x hispanica</i> → Etat de l'arbre : <input checked="" type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort → Type de gîte : <input checked="" type="checkbox"/> Trou de pic (ancienne loge) isolé <input checked="" type="checkbox"/> Trous de pic communicants / colonne creuse <input type="checkbox"/> Fissure étroite (moins de 3 cm.) cicatrisant <input type="checkbox"/> Fente large (plus de 3 cm.) cicatrisant <input type="checkbox"/> Arbre foudroyé <input type="checkbox"/> Tronc, branche creux(se) <input type="checkbox"/> Grosse écharde cassée cicatrisant <input type="checkbox"/> Ancienne insertion (creuse) de branche <input type="checkbox"/> "Carie" due à des champignons <input type="checkbox"/> Sous l'écorce <input type="checkbox"/> Derrière du lierre <input type="checkbox"/> Emplacement incertain <input type="checkbox"/> Autre, préciser : Notes (description, longueur, forme, origine probable, espèce supposée de pic, types associés de cavités,...) : → Autres données concernant le gîte : Emplacement : <input checked="" type="checkbox"/> Tronc <input type="checkbox"/> Branche Hauteur (à l'aplomb du plus haut point d'accès) : ~...16...m. Diamètre (tronc ou branche, à la hauteur du gîte) : ~...cm. Orientation(s) de l'(des) accès : Lierre : <input checked="" type="checkbox"/> Absent <input type="checkbox"/> Un peu <input type="checkbox"/> Couverture dense Biotope (milieu environnant) : <i>Ripisylve et lisière</i>..... Situation dans le milieu (dans le bois, lisière, bord chemin, rivière,...) : <i>Bord de chemin</i>..... Distance de l'eau (la + proche : rivière, étang, mare,...) : Torrent du Fauga..... à ~...15...m. → Devenir de l'arbre-gîte, si vous le connaissez (toujours en place, abattu, tombé, pourri,...) + date la plus récente : <input type="checkbox"/> Ne sais pas </td> </tr> </tbody> </table>	ARBRE-GITE	→ Essence (si possible espèce) : <i>Platan hybride x hispanica</i> → Etat de l'arbre : <input checked="" type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort → Type de gîte : <input checked="" type="checkbox"/> Trou de pic (ancienne loge) isolé <input checked="" type="checkbox"/> Trous de pic communicants / colonne creuse <input type="checkbox"/> Fissure étroite (moins de 3 cm.) cicatrisant <input type="checkbox"/> Fente large (plus de 3 cm.) cicatrisant <input type="checkbox"/> Arbre foudroyé <input type="checkbox"/> Tronc, branche creux(se) <input type="checkbox"/> Grosse écharde cassée cicatrisant <input type="checkbox"/> Ancienne insertion (creuse) de branche <input type="checkbox"/> "Carie" due à des champignons <input type="checkbox"/> Sous l'écorce <input type="checkbox"/> Derrière du lierre <input type="checkbox"/> Emplacement incertain <input type="checkbox"/> Autre, préciser : Notes (description, longueur, forme, origine probable, espèce supposée de pic, types associés de cavités,...) : → Autres données concernant le gîte : Emplacement : <input checked="" type="checkbox"/> Tronc <input type="checkbox"/> Branche Hauteur (à l'aplomb du plus haut point d'accès) : ~...16...m. Diamètre (tronc ou branche, à la hauteur du gîte) : ~...cm. Orientation(s) de l'(des) accès : Lierre : <input checked="" type="checkbox"/> Absent <input type="checkbox"/> Un peu <input type="checkbox"/> Couverture dense Biotope (milieu environnant) : <i>Ripisylve et lisière</i> Situation dans le milieu (dans le bois, lisière, bord chemin, rivière,...) : <i>Bord de chemin</i> Distance de l'eau (la + proche : rivière, étang, mare,...) : Torrent du Fauga..... à ~...15...m. → Devenir de l'arbre-gîte, si vous le connaissez (toujours en place, abattu, tombé, pourri,...) + date la plus récente : <input type="checkbox"/> Ne sais pas	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">CHAUVE(S)-SOURIS PRESENTE(S)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;"> → Espèce(s) (noter sp. si nécessaire) : 1: <i>Murin de Bechstein</i>..... 2:..... 3:..... <input type="checkbox"/> Chauve(s)-souris vue(s), mais non identifiée(s) (*) <input type="checkbox"/> Guano seul ; dans ce cas : <input type="checkbox"/> récent <input type="checkbox"/> vieux → Effectif(s) (nombre maximum d'individus observés) : En inspection interne : 1:..... 2:..... 3:..... (*) :..... En sortie de gîte : 1:16 2:..... 3:..... (*) :..... Abattage, élagage : 1:..... 2:..... 3:..... (*) :..... Autre, préciser : <i>Réalisé le 10 juillet</i>..... → Sexe, âge des individus observés (éventuellement) : Nb. max. de F Ad. / de M Ad. / de Juv. Autres précisions : → Utilisation(s) du gîte : <input type="checkbox"/> Hibernation <input type="checkbox"/> Transit <input checked="" type="checkbox"/> Estivage, sans reproduction <input type="checkbox"/> Non définie(s) <input type="checkbox"/> Reproduction certaine, préciser : → Durée(s) max. d'occupation (+ époque de l'année) : ~...jours en..... / ~...jours en..... ~...jours en..... <input type="checkbox"/> Ne sais pas → Cohabitation (éventuellement) : Avec d'autres animaux, lesquels : <input type="checkbox"/> Simultanée <input type="checkbox"/> Non simultanée Entre différentes espèces de chauves-souris : <input type="checkbox"/> Simultanée <input type="checkbox"/> Non simultanée Commentaires éventuels (poursuivre au dos de la fiche, si nécessaire) : Arbre marqué N2. De nombreuses possibilités de gîtes (6 trous). Une sortie confirmée..... </td> </tr> </tbody> </table>	CHAUVE(S)-SOURIS PRESENTE(S)	→ Espèce(s) (noter sp. si nécessaire) : 1: <i>Murin de Bechstein</i> 2:..... 3:..... <input type="checkbox"/> Chauve(s)-souris vue(s), mais non identifiée(s) (*) <input type="checkbox"/> Guano seul ; dans ce cas : <input type="checkbox"/> récent <input type="checkbox"/> vieux → Effectif(s) (nombre maximum d'individus observés) : En inspection interne : 1:..... 2:..... 3:..... (*) :..... En sortie de gîte : 1:16 2:..... 3:..... (*) :..... Abattage, élagage : 1:..... 2:..... 3:..... (*) :..... Autre, préciser : <i>Réalisé le 10 juillet</i> → Sexe, âge des individus observés (éventuellement) : Nb. max. de F Ad. / de M Ad. / de Juv. Autres précisions : → Utilisation(s) du gîte : <input type="checkbox"/> Hibernation <input type="checkbox"/> Transit <input checked="" type="checkbox"/> Estivage, sans reproduction <input type="checkbox"/> Non définie(s) <input type="checkbox"/> Reproduction certaine, préciser : → Durée(s) max. d'occupation (+ époque de l'année) : ~...jours en..... / ~...jours en..... ~...jours en..... <input type="checkbox"/> Ne sais pas → Cohabitation (éventuellement) : Avec d'autres animaux, lesquels : <input type="checkbox"/> Simultanée <input type="checkbox"/> Non simultanée Entre différentes espèces de chauves-souris : <input type="checkbox"/> Simultanée <input type="checkbox"/> Non simultanée Commentaires éventuels (poursuivre au dos de la fiche, si nécessaire) : Arbre marqué N2. De nombreuses possibilités de gîtes (6 trous). Une sortie confirmée.....
ARBRE-GITE					
→ Essence (si possible espèce) : <i>Platan hybride x hispanica</i> → Etat de l'arbre : <input checked="" type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort → Type de gîte : <input checked="" type="checkbox"/> Trou de pic (ancienne loge) isolé <input checked="" type="checkbox"/> Trous de pic communicants / colonne creuse <input type="checkbox"/> Fissure étroite (moins de 3 cm.) cicatrisant <input type="checkbox"/> Fente large (plus de 3 cm.) cicatrisant <input type="checkbox"/> Arbre foudroyé <input type="checkbox"/> Tronc, branche creux(se) <input type="checkbox"/> Grosse écharde cassée cicatrisant <input type="checkbox"/> Ancienne insertion (creuse) de branche <input type="checkbox"/> "Carie" due à des champignons <input type="checkbox"/> Sous l'écorce <input type="checkbox"/> Derrière du lierre <input type="checkbox"/> Emplacement incertain <input type="checkbox"/> Autre, préciser : Notes (description, longueur, forme, origine probable, espèce supposée de pic, types associés de cavités,...) : → Autres données concernant le gîte : Emplacement : <input checked="" type="checkbox"/> Tronc <input type="checkbox"/> Branche Hauteur (à l'aplomb du plus haut point d'accès) : ~...16...m. Diamètre (tronc ou branche, à la hauteur du gîte) : ~...cm. Orientation(s) de l'(des) accès : Lierre : <input checked="" type="checkbox"/> Absent <input type="checkbox"/> Un peu <input type="checkbox"/> Couverture dense Biotope (milieu environnant) : <i>Ripisylve et lisière</i> Situation dans le milieu (dans le bois, lisière, bord chemin, rivière,...) : <i>Bord de chemin</i> Distance de l'eau (la + proche : rivière, étang, mare,...) : Torrent du Fauga..... à ~...15...m. → Devenir de l'arbre-gîte, si vous le connaissez (toujours en place, abattu, tombé, pourri,...) + date la plus récente : <input type="checkbox"/> Ne sais pas					
CHAUVE(S)-SOURIS PRESENTE(S)					
→ Espèce(s) (noter sp. si nécessaire) : 1: <i>Murin de Bechstein</i> 2:..... 3:..... <input type="checkbox"/> Chauve(s)-souris vue(s), mais non identifiée(s) (*) <input type="checkbox"/> Guano seul ; dans ce cas : <input type="checkbox"/> récent <input type="checkbox"/> vieux → Effectif(s) (nombre maximum d'individus observés) : En inspection interne : 1:..... 2:..... 3:..... (*) :..... En sortie de gîte : 1:16 2:..... 3:..... (*) :..... Abattage, élagage : 1:..... 2:..... 3:..... (*) :..... Autre, préciser : <i>Réalisé le 10 juillet</i> → Sexe, âge des individus observés (éventuellement) : Nb. max. de F Ad. / de M Ad. / de Juv. Autres précisions : → Utilisation(s) du gîte : <input type="checkbox"/> Hibernation <input type="checkbox"/> Transit <input checked="" type="checkbox"/> Estivage, sans reproduction <input type="checkbox"/> Non définie(s) <input type="checkbox"/> Reproduction certaine, préciser : → Durée(s) max. d'occupation (+ époque de l'année) : ~...jours en..... / ~...jours en..... ~...jours en..... <input type="checkbox"/> Ne sais pas → Cohabitation (éventuellement) : Avec d'autres animaux, lesquels : <input type="checkbox"/> Simultanée <input type="checkbox"/> Non simultanée Entre différentes espèces de chauves-souris : <input type="checkbox"/> Simultanée <input type="checkbox"/> Non simultanée Commentaires éventuels (poursuivre au dos de la fiche, si nécessaire) : Arbre marqué N2. De nombreuses possibilités de gîtes (6 trous). Une sortie confirmée.....					

FIGURE 36 FICHE ENQUÊTE NATIONALE ARBRE N2

ANNEXE H : FICHE DE L'ARBRE GÎTE B118

FICHE ENQUÊTE NATIONALE	
ARBRE-GÎTE A CHAUVES-SOURIS ARBORICOLES	
(ne rien inscrire ci-dessus)	
Date de la rédaction: <input type="text" value="30/07/24"/> Important : une fiche par arbre-gîte Observateur / rédacteur (NOM, prénom) : BEAUCLAIRE Antoine Adresse : Tel : Fax : E-mail : antoinebeauclair@outlook.com S'agit-il <input checked="" type="checkbox"/> d'(une) observation(s) personnelle(s) ? <input type="checkbox"/> d'un(de) témoignage(s) ? Cette donnée <input checked="" type="checkbox"/> a-t-elle fait l'objet d'une publication ? <input type="checkbox"/> est-elle citée dans un article ? <input type="checkbox"/> non Si oui, noter la référence bibliographique (*) Beauclair, A.(2024). Répartition de chiroptères forestiers en région Provence Alpes Côtés d'azur ; modélisation et télémtrie diurne (Mémoire de master, Gembloux-Agro Bio Tech) (*) Envoyer si possible, en même temps que la fiche, une copie de la publication ou des pages correspondantes.	
LOCALISATION	
Département (n°) : 13... Commune : Gémenos..... n° carte IGN (1/8° de 50000°) : <input type="text" value="3245 ET"/> Altitude : 240 m. Statut foncier : Site <input type="checkbox"/> domanial <input type="checkbox"/> communal <input checked="" type="checkbox"/> privé <input checked="" type="checkbox"/> Autre, préciser : ENS..... <input type="checkbox"/> Ne sais pas	
CIRCONSTANCES DE LA DECOUVERTE DU GITE OCCUPE	
Date de la découverte : <input type="text" value="02"/> <input type="text" value="07"/> <input type="text" value="2024"/> <input type="checkbox"/> Prospection (+ inspection des cavités favorables) <input type="checkbox"/> Cris audibles (révélant l'emplacement du gîte) <input type="checkbox"/> Abattage <input type="checkbox"/> Suivi du trajet de chasse retour / détecteur <input type="checkbox"/> Sortie de gîte supposé (obs. + detect.) <input type="checkbox"/> Elagage <input type="checkbox"/> Vol tournoyant à l'aube (été : obs. + detect.) <input checked="" type="checkbox"/> Marquage chimio-luminescent <input type="checkbox"/> Hasard <input type="checkbox"/> Radio-pistage <input type="checkbox"/> Autre	
ARBRE-GITE → Essence (si possible espèce) : Platane hybride x hispanica → Etat de l'arbre : <input checked="" type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort → Type de gîte : <input type="checkbox"/> Trou de pic (ancienne loge) isolé <input type="checkbox"/> Trous de pic communicants / colonne creuse <input type="checkbox"/> Fissure étroite (moins de 3 cm.) cicatrisant <input type="checkbox"/> Fente large (plus de 3 cm.) cicatrisant <input type="checkbox"/> Arbre foudroyé <input type="checkbox"/> Tronc, branche creux(se) <input type="checkbox"/> Grosse écharde cassée cicatrisant <input checked="" type="checkbox"/> Ancienne insertion (creuse) de branche <input type="checkbox"/> "Carie" due à des champignons <input type="checkbox"/> Sous l'écorce <input type="checkbox"/> Derrière du lierre <input type="checkbox"/> Emplacement incertain <input type="checkbox"/> Autre, préciser : Notes (description, longueur, forme, origine probable, espèce supposée de pic, types associés de cavités, ...) : → Autres données concernant le gîte : Emplacement : <input type="checkbox"/> Tronc <input checked="" type="checkbox"/> Branche Hauteur (à l'aplomb du plus haut point d'accès) : ~.....m. Diamètre (tronc ou branche, à la hauteur du gîte) : ~.....cm. Orientation(s) de l'(des) accès : Lierre : <input checked="" type="checkbox"/> Absent <input type="checkbox"/> Un peu <input type="checkbox"/> Couverture dense Biotope (milieu environnant) : Ripisylve et lisière Situation dans le milieu (dans le bois, lisière, bord chemin, rivière, ...) : Bord de chemin, légèrement surélevé Distance de l'eau (la + proche : rivière, étang, mare, ...) : Torrent du Fauge..... à ~.10.....m. → Devenir de l'arbre-gîte, si vous le connaissez (toujours en place, abattu, tombé, pouri, ...) + date la plus récente : <input type="checkbox"/> Ne sais pas	CHAUVE(S)-SOURIS PRESENTE(S) → Espèce(s) (noter sp. si nécessaire) : 1: Murin de Bechstein 2: 3: <input type="checkbox"/> Chauve(s)-souris vue(s), mais non identifiée(s) (*) <input type="checkbox"/> Guano seul ; dans ce cas : <input type="checkbox"/> récent <input type="checkbox"/> vieux → Effectif(s) (nombre maximum d'individus observés) : En inspection interne : 1:..... 2:..... 3:..... (*) En sortie de gîte : 1: 38 2:..... 3:..... (*) Abattage, élagage : 1:..... 2:..... 3:..... (*) Autre, préciser : Réalisé le 4 juillet..... → Sexe, âge des individus observés (éventuellement) : Nb. max. de F Ad. / de M Ad. / de Juv. Autres précisions : → Utilisation(s) du gîte : <input type="checkbox"/> Hibernation <input type="checkbox"/> Transit <input checked="" type="checkbox"/> Estivage, sans reproduction <input type="checkbox"/> Non définie(s) <input type="checkbox"/> Reproduction certaine, préciser : → Durée(s) max. d'occupation (+ époque de l'année) : ~..... jours en / ~..... jours en ~..... jours en <input type="checkbox"/> Ne sais pas → Cohabitation (éventuellement) : Avec d'autres animaux, lesquels : <input type="checkbox"/> Simultanée <input type="checkbox"/> Non simultanée Entre différentes espèces de chauves-souris : <input type="checkbox"/> Simultanée <input type="checkbox"/> Non simultanée Commentaires éventuels (poursuivre au dos de la fiche, si nécessaire) : Arbre marqué B118. Cet arbre a notamment fait l'objet d'un suivi en sortie de gîte les 2, 4, 8 et 10 juillet 2024.

FIGURE 37 FICHE ENQUÊTE NATIONALE ARBRE B118

ANNEXE I : PHOTOS DU GÎTE N2



FIGURE 38 PHOTOS DU GÎTE N2, SORTIE DU GÎTE POUR LES MURIN DE BECHSTEIN EN ROUGE

ANNEXE J :PHOTOS DU GÎTE B118



FIGURE 39 PHOTOS DU GÎTE B118, SORTIE DU GÎTE POUR LES MURIN DE BECHSTEIN EN ROUGE

ANNEXE K : PHOTOS DU GÎTE CHAPELLE SAINT-MARTIN



FIGURE 40 PHOTOS DE LA CHAPELLE SAINT-MARTIN, SORTIE DU GÎTE POUR LES MURIN DE BECHSTEIN EN ROUGE