

Mémoire bibliographique

Chiroptères et bocage : Conserver et valoriser le bocage par le biais des auxiliaires de cultures

Synthèse des éléments scientifiques pour la rédaction d'un argumentaire technique



Université de Caen Normandie – Département Biologie, Sciences, Terre

Master 1 Agrosociétés, Environnement, Territoires, Paysage, Forêt - « ECOCAEN »

RAGOT Maxime – Année scolaire 2024/2025

Mémoire bibliographique encadré par Lucas BLONDEL-AMOUR - Animateur

Natura 2000 au Parc naturel régional & Géoparc mondial UNESCO Normandie-Maine.

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord l'équipe du Parc naturel régional & Géoparc mondial UNESCO Normandie-Maine pour avoir proposé ce sujet pour lequel j'ai pris plaisir à travailler. Je remercie tout particulièrement Lucas BLONDEL – AMOUR pour son accompagnement tout au long de la rédaction de ce mémoire, pour ses conseils avisés et son partage de sa passion pour les chiroptères.

Je remercie également Monsieur Jean-Bernard CLIQUET, mon tuteur, pour m'avoir aiguillé dans mes recherches bibliographiques ainsi que pour ses relectures et ses conseils.

Enfin, je remercie toutes les structures travaillant de près ou de loin sur le sujet des chiroptères, pour fournir en libre accès une documentation riche et variée sur laquelle je me suis appuyé afin de rédiger ce mémoire.

Sommaire

Abréviations	5
Introduction	7
1. Les chiroptères et le bocage : un lien étroit	7
1.1 Généralités sur les chiroptères	7
1.2 Le bocage	9
1.3 Le bocage comme élément essentiel du paysage pour les chiroptères	11
2. Les chiroptères : des alliés de l'agriculture	15
2.1 Auxiliaires de cultures	15
2.2 Un atout économique	23
3. Pour une meilleure intégration des chiroptères	23
3.1 Infrastructures agroécologiques	23
3.1.1 Haies bocagères	25
3.1.2 Lisières et bandes enherbées	27
3.1.3 Mares	27
3.2 Pratiques agricoles	29
3.2.1 Travail du sol et utilisation d'herbicides	29
3.2.2 Intensité de fauche, pâturage et fertilisation	31
3.3 Les bâtiments agricoles	31
3.4 Traitement du bétail et chiroptères	33
Conclusion	35
Références	37
Bibliographie	37
Webographie	44
Fiche suivie	46
Résumés	47

Abréviations

PNR = Parc Naturel Régional

PNA = Plan National d'Actions

UICN = Union Internationale pour la Conservation de la Nature

GMN = Groupe Mammalogique Normand

CPIE = Centre Permanent d'Initiative pour l'Environnement

IAE = Infrastructures Agroécologiques

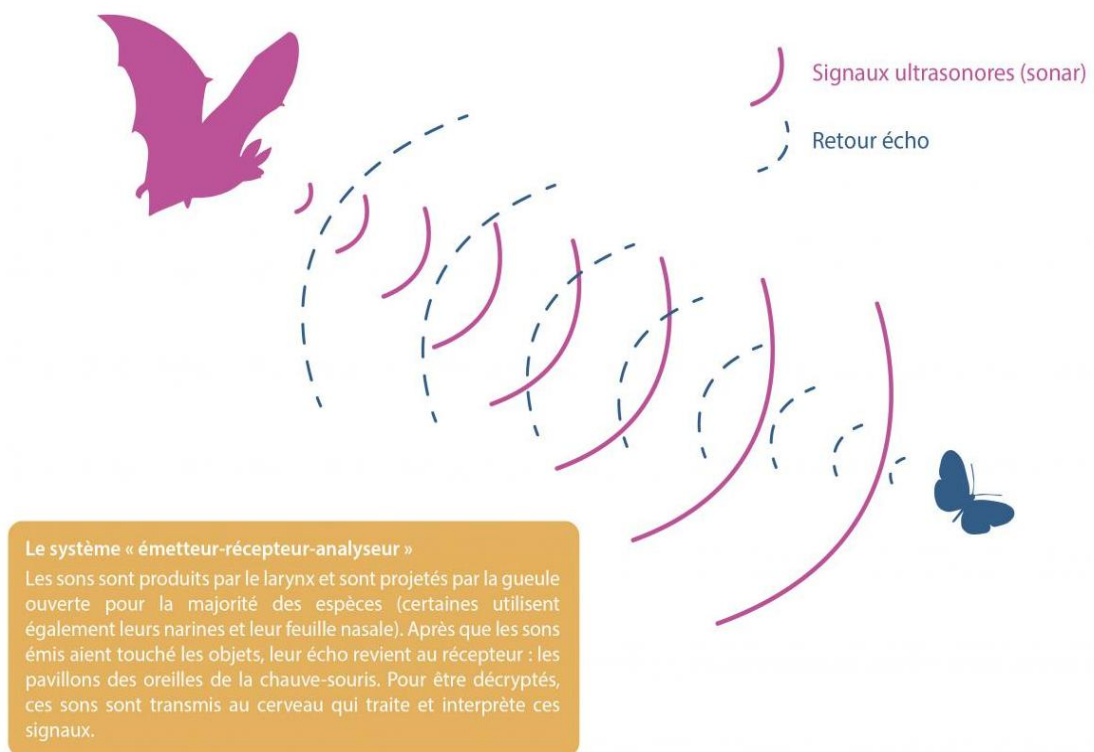


Figure 1 : Représentation schématique de l'écholocation chez la chauve-souris (Curlier, PNA chiroptères)

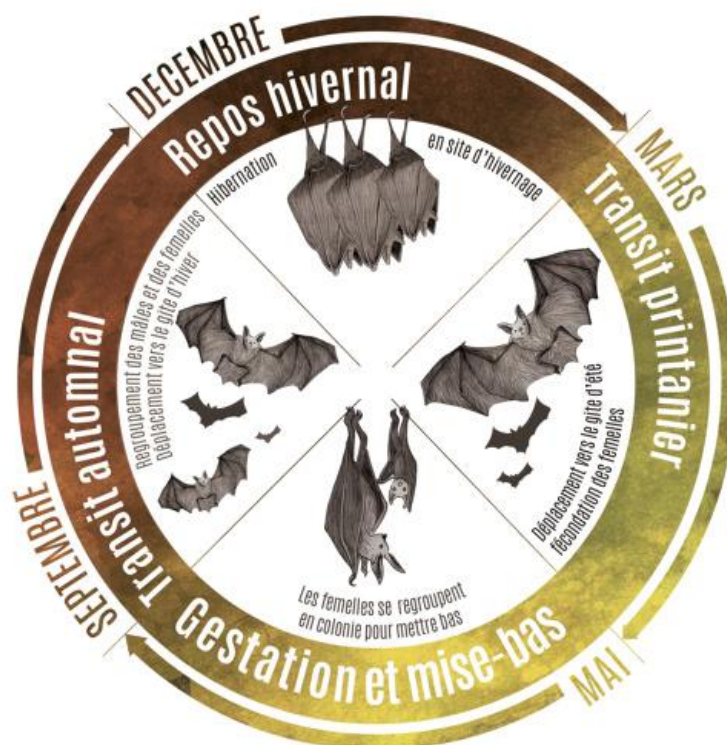


Figure 2 : Schéma du cycle de vie d'une chauve-souris (PNR Scarpe – Escaut)

Introduction

Crée en 1975, le Parc Naturel Régional (PNR) et Géoparc Normandie-Maine œuvre pour la conservation et la valorisation du patrimoine naturel, paysager et culturel, notamment par le portage de l'animation Natura 2000 comprenant 12 sites parmi les 17 désignés sur son territoire. Le bocage constitue un élément identitaire du Parc qui met en œuvre plusieurs actions en faveur de sa préservation et de sa restauration via l'observatoire du bocage, des programmes de plantations de haies ou encore de formations.

Le Parc appelle à diversifier les approches pour promouvoir le bocage auprès des élus, des agriculteurs et des usagers du territoire. Un certain nombre d'études met en avant le lien étroit entre certaines espèces de chiroptères et le bocage. De plus, en se nourrissant d'insectes ravageurs et de parasites, les chiroptères sont considérés comme des auxiliaires de culture. Dans une démarche de valorisation des services rendus à l'agriculture par les chiroptères, et afin de mettre en avant la nécessité d'entretenir et de restaurer le bocage, ce mémoire permet une synthèse bibliographique des études qui évoquent ce sujet, en mettant en avant les éléments scientifiques en vue de la rédaction d'un argumentaire technique.

Ce mémoire fait suite au travail de Lepetz (2015), dans le cadre d'un mémoire bibliographique de licence général, intitulé « comment concilier pratiques agricoles et préservation des chiroptères » et s'insère dans une dynamique plus large en apportant notamment des éléments de réponses sur comment intégrer les chiroptères dans les pratiques agricoles, sujet de la fiche n°9 (priorité 1) du troisième Plan National d'Actions (PNA) chiroptères (2016-2025).

1. Les chiroptères et le bocage : un lien étroit

1.1 Généralités sur les chiroptères

Comptant près de 1400 espèces dans le monde dont 36 en France métropolitaine (Wilson & Mittermeier, 2019), les chauves-souris sont des mammifères ayant développé des adaptations anatomiques et physiologiques qui n'existent que dans l'ordre des chiroptères (Arthur et Lemaire, 2021). En effet, les chauves-souris sont des animaux présentant de nombreuses particularités dont les principales sont liées à leur morphologie, leur activité nocturne et leur régime alimentaire. Ces animaux sont les seuls mammifères pratiquant le vol actif, ils ont développé un mode de déplacement et de chasse de nuit par l'utilisation d'un système de navigation par écholocation (Nowicki *et al.*, 2018) (fig. 1). De plus, les chauves-souris des régions tempérées possèdent un cycle vital contrasté avec une phase active et une phase d'hibernation (fig. 2).

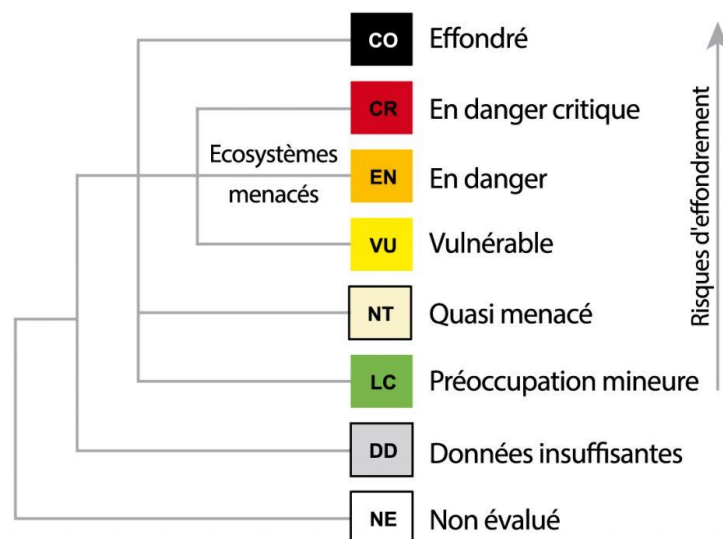


Figure 3 : Echelle des statuts de menaces des espèces sur liste rouge (UICN)

LE BOCAGE DU COTENTIN INTÉRIEUR

- Caractérisation

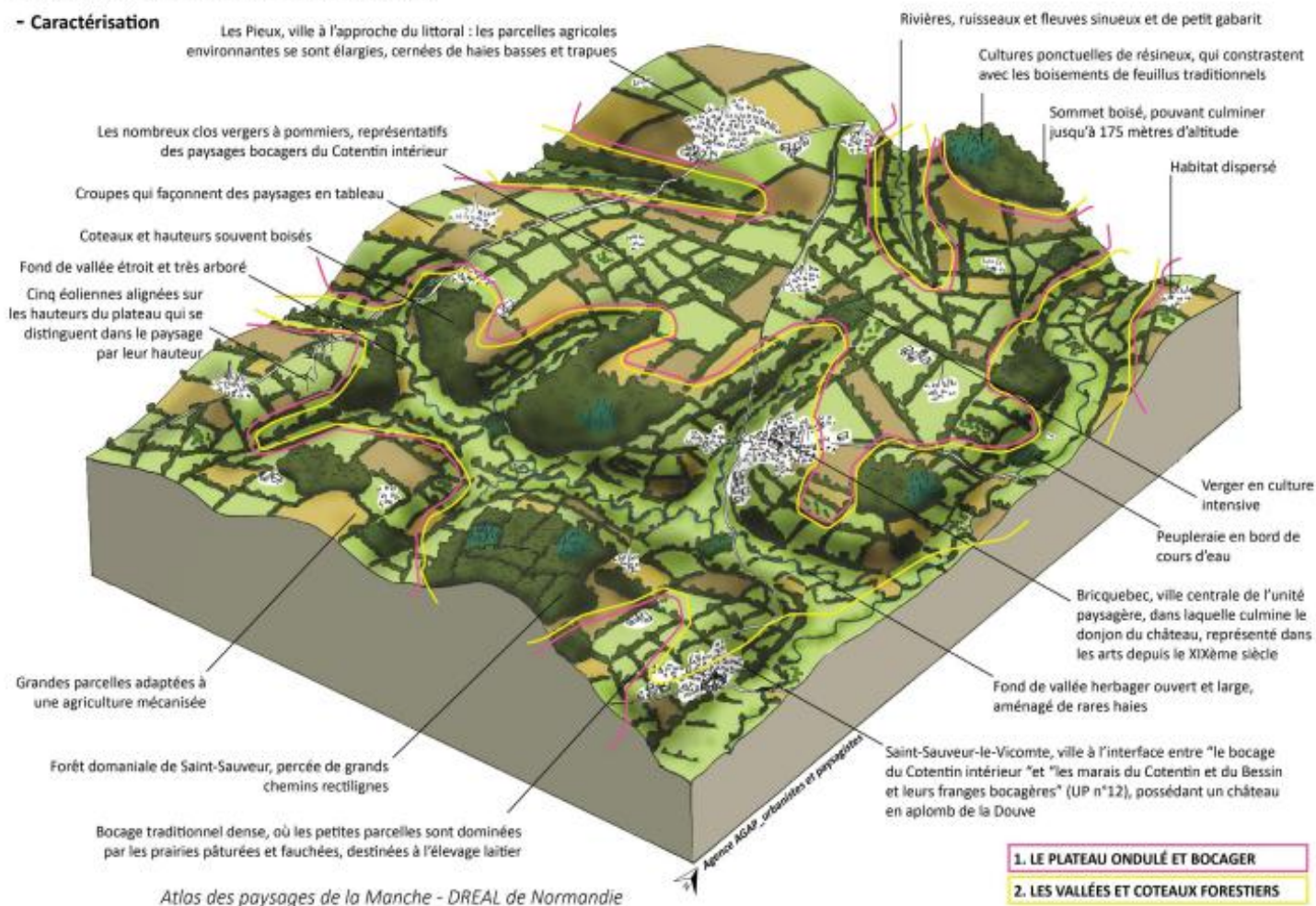


Figure 4 : Schéma du bocage caractéristique de l'Ouest de la France (Atlas des paysages de la Manche - DREAL Normandie)

Cela implique deux fois par an des changements d'habitats et une profonde transformation des paramètres physiologiques (Arthur et Lemaire, 2021).

Les 36 espèces présentes en France métropolitaine sont réparties en quatre familles : les rhinolophidés (4 espèces), les vespertilionidés (30 espèces), les minioptéridés (1 espèce) et les molossidés (1 espèce) (Arthur et Lemaire, 2021). Ces espèces ont des régimes alimentaires plus ou moins variés, mais exclusivement à base d'insectes : diptères (mouches, moustiques), coléoptères (bousiers, lucanes cerfs-volants, carabes) et lépidoptères (rhopalocères, hétérocères). S'y joignent également quelques arachnides (opilions) (Lauer & Tillon, 2023).

Les chiroptères contribuent de manière importante au bon maintien des écosystèmes. À l'échelle mondiale, ils jouent un rôle écologique essentiel via la régulation des insectes ravageurs, la dispersion des graines, la pollinisation et la fertilisation des sols (Kunz *et al.*, 2011). Cependant, ils sont aujourd'hui menacés et sur les 34 espèces de chauves-souris évaluées lors de la dernière liste rouge des espèces de mammifères menacées en France métropolitaine, 8 sont aujourd'hui menacées et 8 autres quasi menacées, contre 4 et 7 respectivement lors de la précédente évaluation, datant de 2009 (UICN France *et al.*, 2017) (fig. 3). Cette évolution pourrait être dû en partie à l'amélioration des connaissances sur ces espèces par rapport à la dernière liste rouge. Mais pour de nombreuses espèces, l'aggravation est causée principalement par la disparition ou la modification des gîtes et la transformation du domaine vital des chauves-souris (rénovation de bâtiments, abattage des arbres à cavités, condamnation des entrées de gîtes souterrains, destruction des haies, disparition des zones humides, homogénéisation des boisements, etc.). Dans d'autres cas, le développement du secteur éolien, les collisions routières, le dérangement, l'utilisation d'insecticides ou encore les zoonoses sont en cause (Godineau & Pain, 2007).

1.2 Le bocage

Les premières définitions du bocage remontent au XVIII^e siècle lorsque l'agronome anglais Arthur Young publie, au terme de ses voyages en France, ses observations sur l'état de l'agriculture française (Watteaux, 2005). Aujourd'hui, le bocage est défini par les géographes comme « un paysage de haies végétales – souvent avec talus et fossé – associé à un habitat dispersé, à un dense réseau de chemins, à un régime agraire considéré comme plutôt individualiste et à une forme relativement massive et irrégulière des parcelles, s'opposant ainsi, point par point, au paysage d'openfield » (Watteaux, 2012). Le bocage de l'Ouest de la France possède de nombreuses caractéristiques définies principalement par un plateau ondulé et bocager, en lien avec des vallées et des coteaux forestiers (fig. 4).

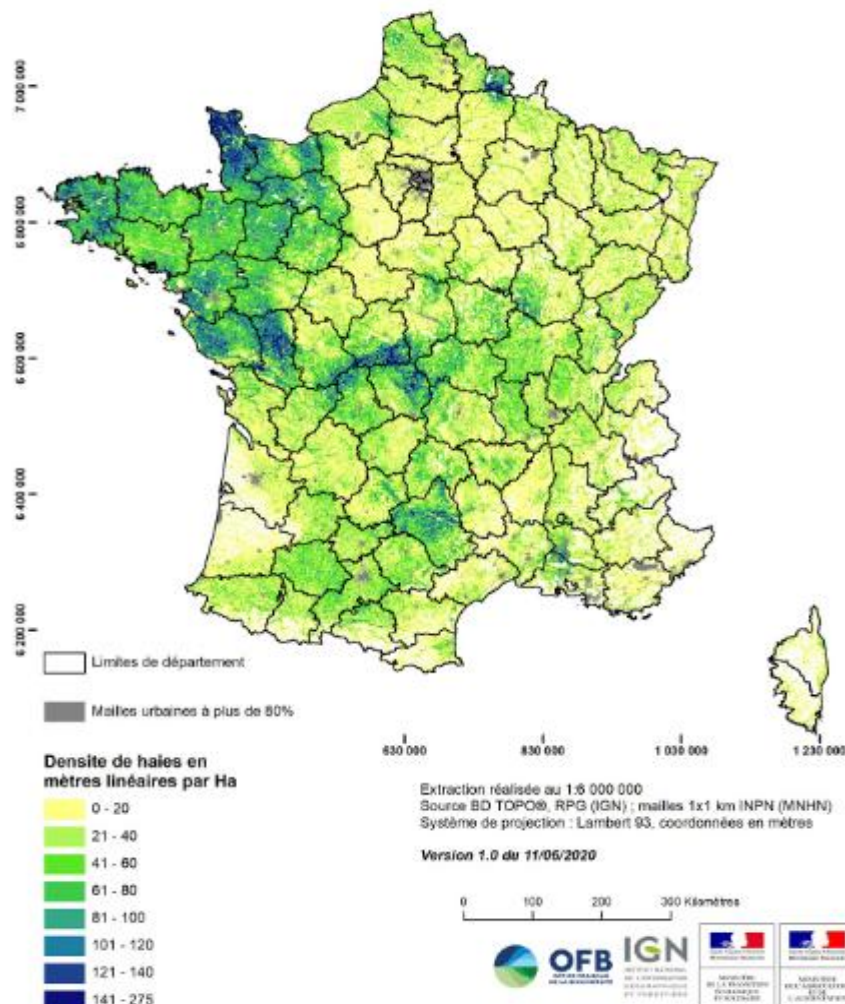


Figure 5 : Carte présentant la densité des haies dans les départements de France métropolitaine (Dispositif national de suivi des bocages, IGN/OFB)

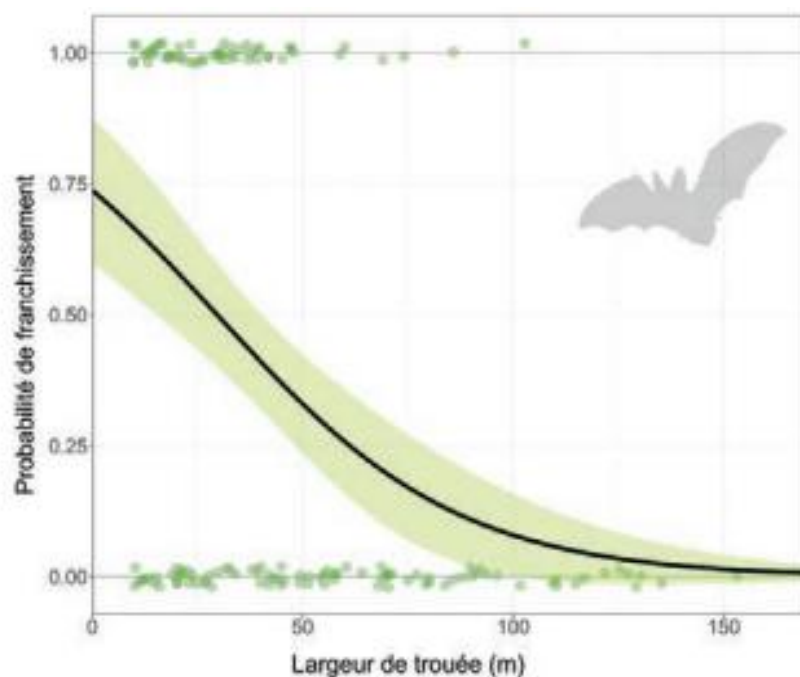


Figure 6 : Probabilité de franchissement d'une discontinuité lorsqu'un Grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) se déplace le long d'une haie présentant une trouée (Pinaud, 2018)

Chaque point vert représente une trouée franchie. La courbe noire représente le modèle statistique synthétisant ces données, avec un intervalle de confiance représenté en vert.

Le bocage est une caractéristique paysagère héritée de pratiques agricoles très anciennes (Baudry *et al.*, 2000). La localisation des exploitations le long d'un gradient de densité de haies décroissantes et de taille de parcelles croissantes est corrélée à l'utilisation des terres, allant d'une mosaïque plus fine et hétérogène dans un bocage dense à de grandes parcelles uniformes dans un bocage ouvert avec des haies clairsemées (Thenail & Baudry, 2004).

Après la Seconde guerre mondiale, l'enjeu pour la France de retrouver une souveraineté alimentaire était important. L'accélération de la mécanisation, accentuée par les politiques publiques, a entraîné de nombreuses opérations de remembrements à travers la France. Destinées à favoriser les gains de productivité dans l'agriculture, les opérations de remembrement visaient à regrouper le parcellaire dispersé des exploitations, à faire disparaître les obstacles à la mécanisation et à repenser les voies de desserte, entraînant ainsi une perte d'habitats semi-naturels tels que les bandes enherbées, les haies, les bosquets et les vergers (Robinson & Sutherland, 2002). Depuis 1950, 70% des haies ont disparu des bocages français. Sous l'effet conjoint du remembrement agricole et du déclin de l'activité d'élevage, la surface en haies et alignements d'arbres en France métropolitaine est en constante diminution, malgré les programmes de plantations (perte estimée à 23 500 km/an entre la période 2017 et 2021) (Menthière *et al.*, 2023).

En Normandie, le remembrement a pu être limité par une combinaison de facteurs naturels (bocage, topographie), économiques (spécialisation dans l'élevage), et culturels (attachement au paysage traditionnel) permettant ainsi de conserver une densité de bocage importante par rapport à d'autres régions (Preux, 2019) (fig. 5). Cependant, des opérations de remembrement ont tout de même eu lieu en Normandie et la densité des haies de l'Orne par exemple accuse une perte de 829 km par an entre 1972 et 2016 (ANBDD, 2021).

1.3 Le bocage comme élément essentiel du paysage pour les chiroptères

Le rôle des haies et du maillage bocager dans le maintien de la biodiversité dans les paysages agricoles européens est aujourd'hui bien établi (Graham *et al.*, 2018), en particulier pour les chauves-souris (Boughey *et al.*, 2011). Les éléments linéaires, tels que les haies, constituent des repères spatiaux pour les chauves-souris étant donné leur écologie liée à la structure du paysage. Même de petites discontinuités dans les éléments linéaires peuvent avoir un impact sur leur utilisation (Pinaud *et al.*, 2018). La figure 6 montre que plus la largeur de la trouée au sein de la haie est importante, plus la probabilité de franchissement de la haie par le Grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) est faible (fig. 6), entraînant une discontinuité spatiale et donc une perte d'intérêt de la haie pour cette espèce. La disponibilité de corridors de végétation constitue ainsi un élément clé de la qualité de leur domaine vital (Hein *et al.*, 2019).

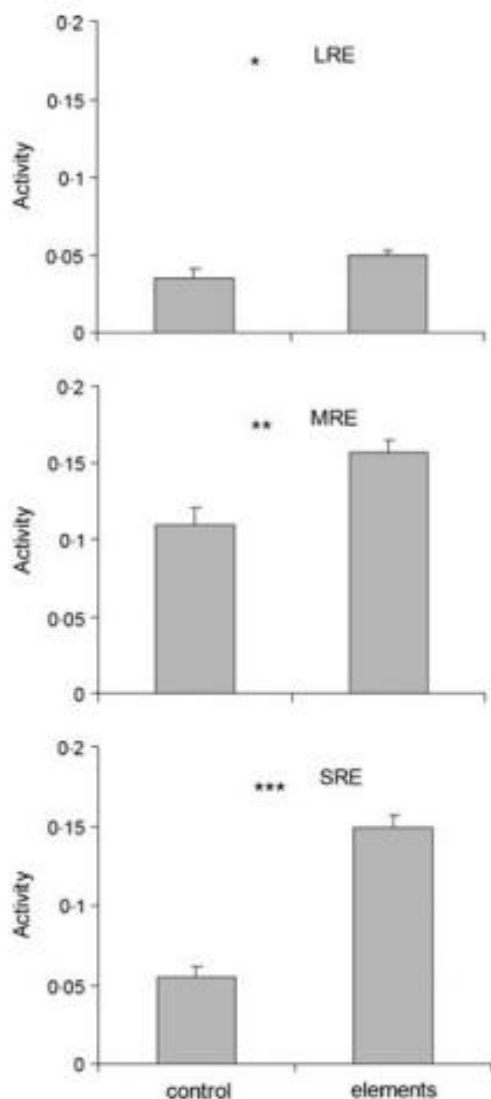


Figure 7 : Activité relative moyenne de recherche de nourriture de trois groupes de chauves-souris* autour d'éléments paysager par rapport et à la zone contrôle (Frey-Ehrenbold *et al.*, 2013)

* : LRE = écholocateurs à longue portée, MRE = écholocateurs à moyenne portée, SRE = écholocateurs à courte portée.

Tableau I : Espèces et statut de protection des chiroptères inventoriés en 2023 (GMN, CPIE Colline Normandes, 2024)

Nom commun	Nom scientifique	Statuts		
		Dir. HFF	LRN	LRR
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Ann. IV	NT	LC
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Ann. IV	LC	LC
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Ann. IV	NT	LC
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Ann. IV	NT	NT
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Ann. IV	VU	VU
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	Ann. II	LC	LC
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	Ann. II	LC	LC
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	Ann. II	LC	LC
Murin d'Alcathoë	<i>Myotis alcathoe</i>	/	LC	NT
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	Ann. IV	LC	LC
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	Ann. II	NT	NT
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	Ann. IV	LC	LC
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	Ann. IV	LC	LC
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Ann. II	LC	LC
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Ann. II	LC	LC
Oreillard indéterminé	<i>Plecotus sp.</i>	/	/	/

(Dir. HFF = Directive Habitat-Faune-Flore, LRN = Liste Rouge Nationale, LRR = Liste Rouge Régionale, LC = Préoccupation Mineure, NT = Quasi-Menacé, VU = Vulnérable).

En d'autres termes, les haies constituent des interfaces de connexions entre les différents habitats naturels, or, la connectivité au sein des milieux naturels facilite l'accès aux ressources et les échanges entre les sous-populations, ce qui contribue à soutenir les populations et à réduire le risque de déclin et d'extinction locale (Matson *et al.*, 1997). La connectivité structurelle joue donc un rôle essentiel dans le maintien de la biodiversité et influence la distribution et l'abondance de divers taxons en leur fournissant des corridors pour leurs déplacements quotidiens ou leur dispersion occasionnelle (Gelling *et al.*, 2007). Outre la connectivité, l'hétérogénéité et la couverture fournies par les éléments du paysage favorisent également la diversité des espèces (Benton *et al.*, 2003). Plusieurs études, portant également sur les habitats anthropiques ont montré une corrélation positive entre l'hétérogénéité des habitats et la diversité faunistique (Bennett *et al.*, 2006).

Comme évoqué précédemment, le cycle de vie des chiroptères nécessite plusieurs habitats (gîte d'hibernation et de mise bas, terrains de chasse, gîte transitoire) impliquant de nombreux déplacements tout au long de la vie d'un individu. Le paysage bocager représente donc un fort intérêt pour de nombreuses espèces de chiroptères, car il présente une mosaïque d'habitats complémentaires à forte valeur écologique : prairies pâturées, haies, boisements et milieux humides. Les haies représentent pour les chiroptères à la fois un milieu de chasse et des voies de déplacements pour les différents gîtes utilisés au cours de leur vie (Matutini *et al.*, 2022). En outre, les chauves-souris constituent des espèces bioindicatrices fiables, car elles réagissent fortement à divers facteurs de stress (Jones *et al.*, 2009), y compris la perte d'éléments structurels du paysage, qui a un impact sur l'abondance, la distribution et l'activité des chauves-souris (Boughey *et al.*, 2011).

D'une manière générale, les chauves-souris chassent en lisière, en vol ou à l'affût perchées sous une branche, et la haie, milieu d'interface, est alors très fréquentée (Matutini *et al.*, 2022). On note par exemple une activité acoustique supérieure autour des éléments boisés, plus particulièrement pour les espèces à courte portée d'écholocation (SRE) comme les Rhinolophes, les Oreillards ou les Murins qui chassent généralement dans les milieux encombrés, contrairement aux espèces à moyenne portée (MRE) et à longue portée (LRE) (Frey-Ehrenbold *et al.*, 2013) (fig. 7).

À l'échelle locale, une étude menée par le Groupe Mammalogique Normand (GMN) et le Centre Permanent d'Initiative pour l'Environnement (CPIE) collines Normandes sur l'utilisation des haies par les espèces protégées a permis d'inventorier 15 espèces de chauves-souris lors des inventaires sur les différentes haies de l'Orne (Tableau I).

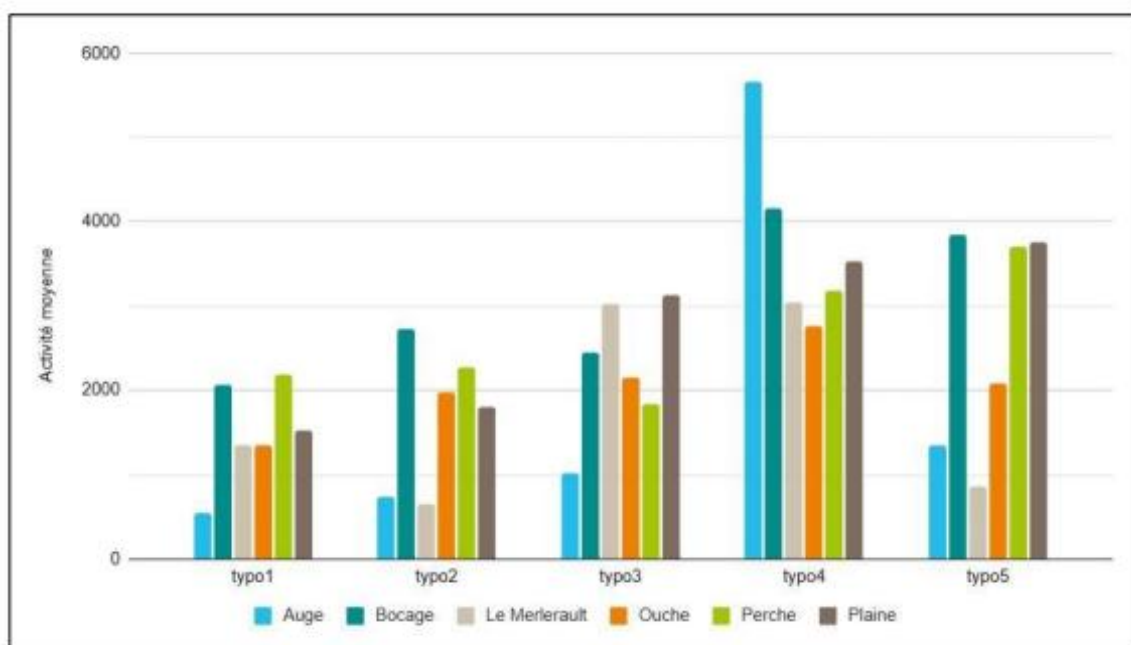


Figure 8 : Graphique d'activité par typologie* et par maille en fonction des différentes petites régions agricoles (GMN, CPIE Colline Normandes, 2024)

* : typologie 1 = haie relictuelle ou en devenir, typologie 2 = haie buissonnante basse, typologie 3 = haie arbustive, typologie 4 = haie mixte, typologie 5 = alignement d'arbres

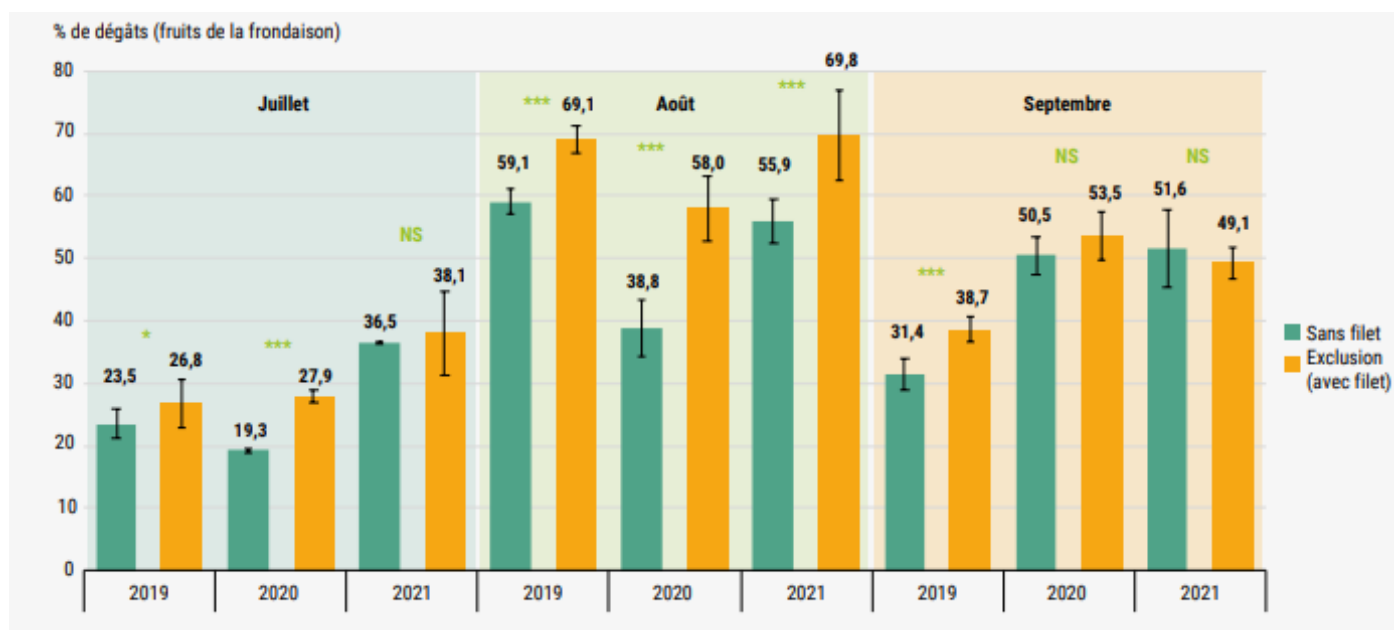


Figure 9 : Pourcentage de dégâts sur les fruits de la frondaison en 2019, 2020 et 2021 dans les modalités « Sans filet » et « Exclusion (avec filet) » (Rocard & Michaud, 2021)

D'autre part, cette étude a permis de caractériser le type de haie utilisé prioritairement par les chauves-souris : le cortège d'espèces de chauves-souris est similaire sur une haie relictuelle ou une belle haie mixte (fig. 8).

Ainsi, la richesse spécifique évolue peu au niveau d'une entité paysagère ce qui démontre la forte capacité de déplacements des différentes espèces de chiroptères. En revanche, les résultats ont montré que c'est l'activité chiroptérologique qui diffère. Cette dernière est maximale sur les haies de type 4 et 5 et minimal pour les haies de type 1 et 2. Ainsi, on peut donc supposer que les espèces utilisent l'ensemble du réseau de haies, dégradées ou non pour se déplacer, mais elles vont favoriser les haies dites boisées (avec des arbres de haut jet) pour se nourrir, ce qui explique cette différence d'activités mesurées (GMN & CPIE, 2024).

2. Les chiroptères : des alliés de l'agriculture

2.1 Auxiliaires de cultures

Les chauves-souris ont un métabolisme très élevé, donc une consommation soutenue d'insectes. Plusieurs ravageurs figurent au régime alimentaire de diverses espèces de chauves-souris qui, à ce titre, doivent être pleinement intégrées au cortège des espèces auxiliaires en agriculture (Rocard & Michaud, 2021). Parmi eux se trouvent principalement des lépidoptères, tels que des Pyrales comme la Pyrale du riz (*Chilo suppressalis*) et la Pyrale du maïs (*Ostrinia nubilalis*), la Noctuelle du maïs (*Helicoverpa zea*), l'Eudémis de la vigne (*Lobesia botrana*) ou encore les Carpocapses de la pomme par exemple.

L'exclusion expérimentale des chauves-souris constitue un outil puissant pour étudier l'impact de la faune sauvage sur les rendements agricoles et sur les communautés d'arthropodes dont les ravageurs font partie (Rocard & Michaud, 2021). C'est avec cette méthode, par l'installation de filet, que Rocard et Michaud ont étudié le rôle des chauves-souris et des oiseaux dans la suppression des tordeuses, qui sont des lépidoptères ravageurs des pommiers. Les tests montrent une différence significative entre les modalités « Exclusion » et « Témoin » pour six des neuf dates de suivi, avec davantage de dégâts dans la modalité « Exclusion » qui interdit l'accès aux oiseaux et aux chauves-souris. Les écarts vont de 8 à 20 points de pourcentage selon les dates (Rocard & Michaud, 2021) (fig. 9). En conclusion, cette étude émet l'hypothèse que la diminution des dégâts sur la totalité des fruits est associée à une exclusion de l'activité de prédation des oiseaux et des chauves-souris. Cette exclusion des oiseaux et des chauves-souris induit une augmentation significative des dégâts réalisés par les ravageurs de l'ordre de 9% (Rocard & Michaud, 2021).

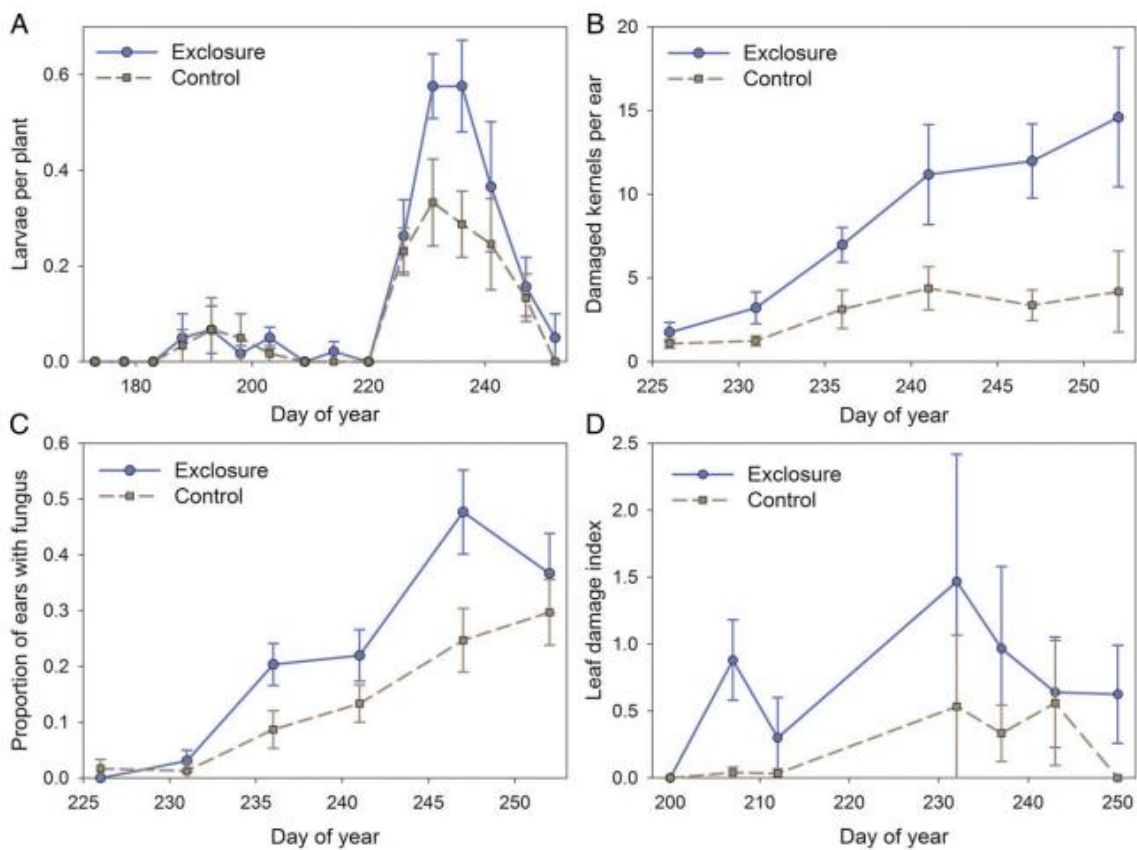


Figure 10 : Effet des chauves-souris dans les cultures de maïs entre les parcelles contrôle (accessible aux chauves-souris) et les parcelles en enclos (inaccessible aux chauves-souris) pour 4 variables (Maine & Boyles, 2015)

A = nombre de larves par plantes
 B = nombre de grains endommagés par épi
 C = proportion de champignons par épis
 D = dommages aux feuilles

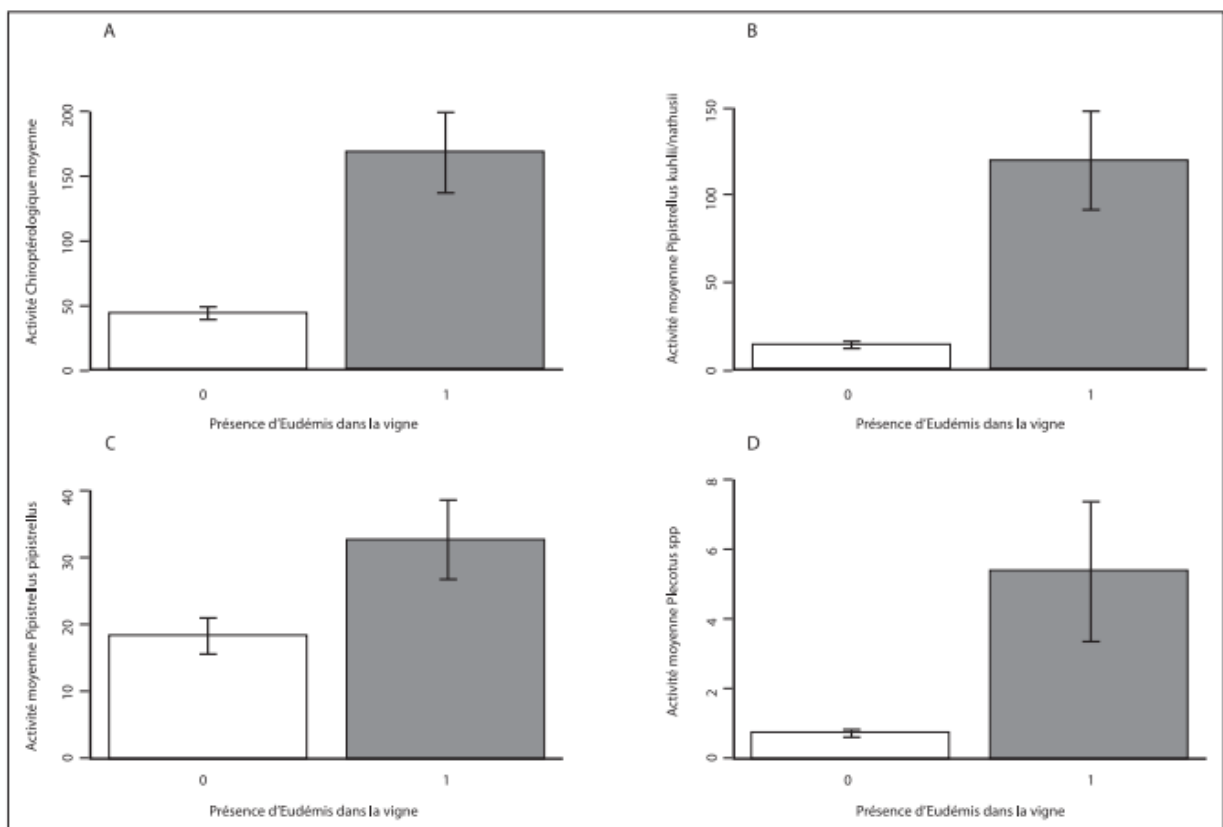


Figure 11 : Comparaison de l'activité moyenne des chauves-souris en fonction de l'absence des papillons du ravageur (barre blanche) ou de leur présence (barre grise) dans les parcelles de vigne (Charbonnier *et al.*, 2021)

A = Ensemble des espèces
 B = Groupe pipistrelle (Kuhl/Nathusius)
 C = Pipistrelle commune (Pipistrellus pipistrellus)
 D = Oreillards sp.

Dans une étude de 2015, Maine & Boyles ont étudié le rôle des chauves-souris dans la suppression de la Noctuelle du maïs (*Helicoverpa zea*), un papillon ravageur qui cause des dommages importants aux cultures en se nourrissant de feuilles et d'épis pendant leur stade de vie larvaire (Maine & Boyles, 2015). Ils ont montré que les champs où les chauves-souris ont été exclues présentaient 59% de larves en plus par épi par rapport aux champs témoins. De plus, l'exclusion des chauves-souris a entraîné 56% de grains endommagés en plus par épi. Par ailleurs, les épis des parcelles où les chauves-souris étaient absentes montraient une augmentation significative des infections fongiques (20% contre 12% dans les parcelles témoins) dû à une concentration importante de noctuelle, vecteurs de champignons pour le maïs. Enfin, les dommages aux feuilles ont été plus élevés dans les parcelles en enclos par rapport aux parcelles contrôles (Maine & Boyles, 2015) (fig. 10). En définitif, les chauves-souris initient une cascade trophique en réduisant les populations de ravageurs et leurs dommages. Cela améliore directement la quantité et la qualité des cultures, notamment en diminuant les infections fongiques et les mycotoxines associées. Leur impact est particulièrement marqué dans les systèmes de culture simplifiés comme le maïs, où elles jouent un rôle unique de prédateurs nocturnes (Maine & Boyles, 2015).

En outre, les chauves-souris influencent la densité des larves en réduisant les populations de papillons adultes, mais elles peuvent aussi modifier le comportement des ravageurs, comme l'oviposition, soulignant ainsi leur rôle indirect dans la régulation des ravageurs (Maine & Boyles, 2015). Enfin, une étude de McCracken *et al.* (2012), montre que les chauves-souris de l'espèce *Tadarida brasiliensis* suivent les variations saisonnières de la population de la Noctuelle du maïs (*Helicoverpa zea*), confirmant leur capacité à s'adapter aux fluctuations des populations d'insectes. Leur régime alimentaire opportuniste les rend efficaces pour contrôler les pics de population de ravageurs, même dans des environnements agricoles modernes où les monocultures et les pesticides prédominent (McCracken *et al.*, 2012).

Cette consommation d'insectes permet donc de réduire la dépendance aux pesticides dans certains cas. Au cours d'une étude en Gironde sur les chauves-souris comme possibles auxiliaires de culture pour la vigne, Charbonnier *et al.* (2021), a démontré que l'activité chiroptérologique augmente significativement dans les vignes lorsque les papillons ravageurs des vignes (tel que *Lobesia botrana*) sont présents dans les parcelles (fig. 11). Cette augmentation de l'activité, en relation avec la présence des papillons ravageurs dans les parcelles, est d'autant plus importante que l'espèce ou le groupe d'espèces de chauves-souris sont spécialisés (Charbonnier *et al.*, 2021). Ces résultats confirment la capacité des chauves-souris insectivores à adapter leur activité de chasse, dans des contextes de monoculture, à la présence des populations de ravageurs par la mise en place de réponses numériques.

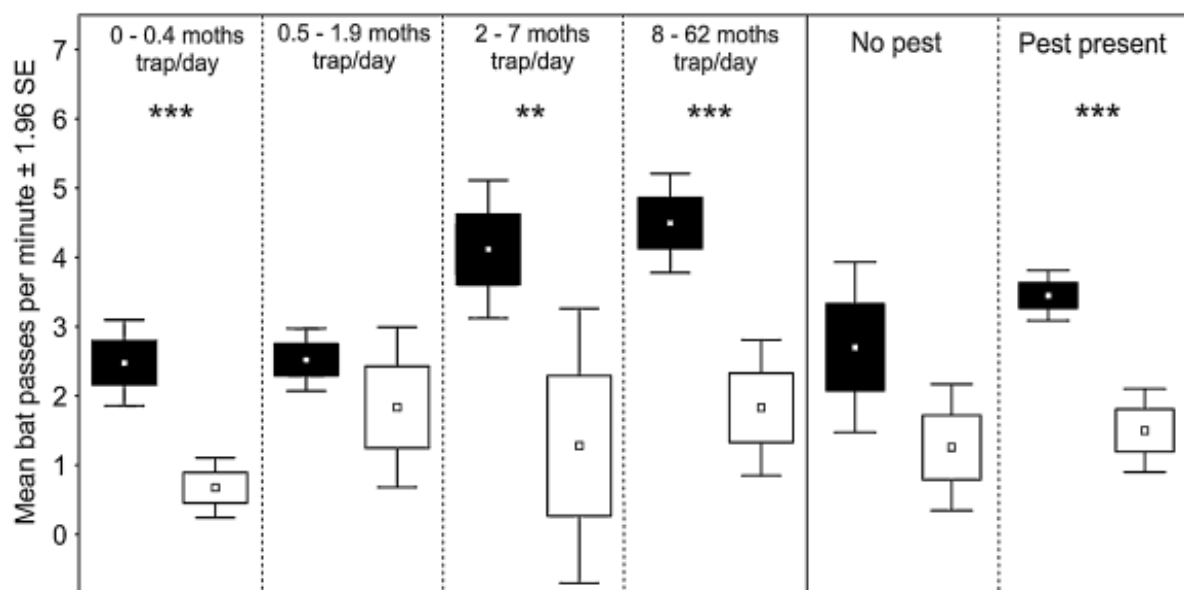


Figure 12 : Relation entre l'activité des chauves-souris et l'activité de la Pyrale du riz (*Chilo suppressalis*) (Puig-Montserrat *et al.*, 2015)

Les cases noires représentent les passages des chauves-souris dans les rizières et les cases blanches les passages des chauves-souris dans les roselières considérées comme habitat témoin. L'activité du scolyte du riz a été regroupée selon les quatre quartiles de son abondance comptée dans les pièges lumineux.

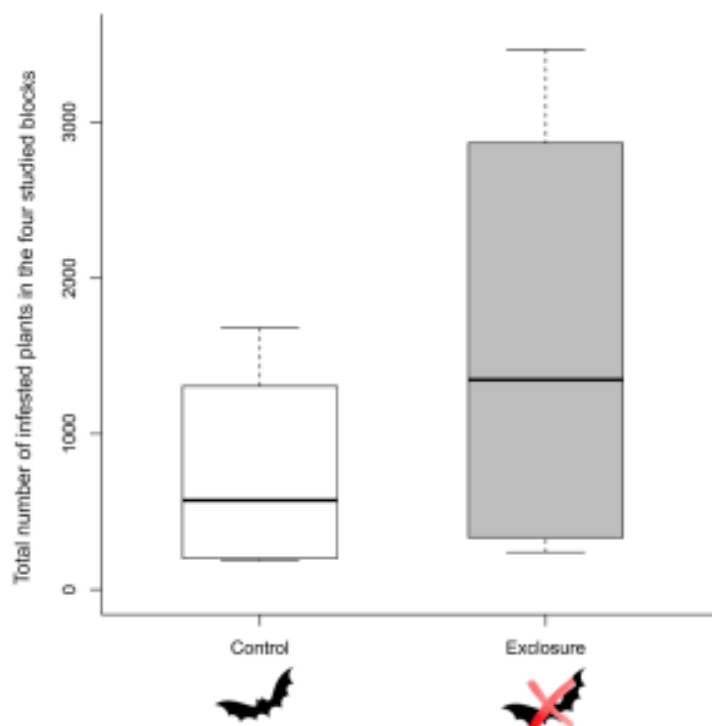


Figure 13 : Nombre total de plants de riz infestés par *Chilo suppressalis* en fonction des deux traitements (contrôle/exclusion) (Tuneu-Corral *et al.*, 2024).

Le boxplot « contrôle » et « exclusion » montre le nombre total de plants infestés enregistrés dans les quatre parcelles (400 m² chacune) où les chauves-souris n'ont respectivement pas été exclues et exclues.

Si les Pipistrelles sont les espèces les plus actives au vignoble, les Oreillards, espèces avec des niches trophiques plus spécialisées, sont ceux qui augmentent le plus significativement leur activité de chasse dans la vigne quand les papillons ravageurs y sont actifs (Charbonnier *et al.*, 2021).

Dans une étude de 2015 s'intéressant aux chauves-souris comme agents de contrôle des ravageurs dans les rizières méditerranéennes, Puig-Montserrat *et al.* (2015), ont démontré que les chauves-souris insectivores, notamment la Pipistrelle soprane (*Pipistrellus pygmaeus*), jouent un rôle crucial dans le contrôle des ravageurs du riz comme la Pyrale du riz (*Chilo suppressalis*). En effet, via l'introduction de 69 nichoirs à chauves-souris, il a été démontré que les chauves-souris consomment activement les Pyrales pendant les pics d'activité, notamment durant la deuxième et la troisième génération de l'insecte, lorsque les dommages aux cultures sont les plus importants (fig. 12). De plus, l'activité des chauves-souris et l'émergence de la Pyrale du riz sont liés : l'activité des chauves-souris augmente significativement lorsque la densité de Pyrales est élevée et les chauves-souris sont plus actives dans les rizières que dans les habitats de contrôle (roseaux) lorsque les Pyrales sont présentes (Puig-Montserrat *et al.*, 2015). Cette étude souligne donc l'importance de la conservation des chauves-souris dans les écosystèmes agricoles méditerranéens en tant qu'outil clé pour une agriculture durable et respectueuse de l'environnement (Puig-Montserrat *et al.*, 2015).

Une autre étude, menée également sur le riz, mais cette fois-ci en Espagne, corrobore ces résultats. En effet, sur les parcelles ayant fait l'objet d'installation d'enclos (afin d'empêcher les chauves-souris d'y accéder) les auteurs ont observé une augmentation significative du nombre de plantes infestées par la Pyrale du riz (*Chilo suppressalis*) (fig. 13) (Tuneu-Corral *et al.*, 2024). Il a été détecté une augmentation moyenne de 94,5 % des dommages dans les parcelles d'exclusion, avec des valeurs allant de 28,6 % à 142,9 % d'augmentation des dommages selon les parcelles étudiées. L'analyse moléculaire a permis de détecter des traces de prédation de la Pyrale du riz par le groupe des Pipistrelles et notamment *Pipistrellus pipistrellus* (Tuneu-Corral *et al.*, 2024).

Plusieurs études démontrent également la consommation de la Pyrale du buis (*Cydalima perspectalis*), un papillon nocturne originaire d'Extrême Orient, introduit accidentellement en Europe en 2007 et qui a rapidement proliféré. Les chenilles causent d'importants dégâts en défoliant totalement des peuplements entiers de buis, dont elles se nourrissent (Carré, 2018). De nombreuses observations naturalistes démontrent que au moins neuf espèces de chauves-souris sur les 36 espèces françaises consomment la Pyrale du Buis (*Cydalima perspectalis*). Ce chiffre est cependant sous-estimé, étant donné que les chauves-souris sont des prédateurs insectivores sélectifs tout en étant opportunistes (Carré, 2018). En effet, elles peuvent chasser des proies abondantes et faciles à capturer, même si elles ne sont pas caractéristiques de leur régime alimentaire (Dietz *et al.*, 2009).

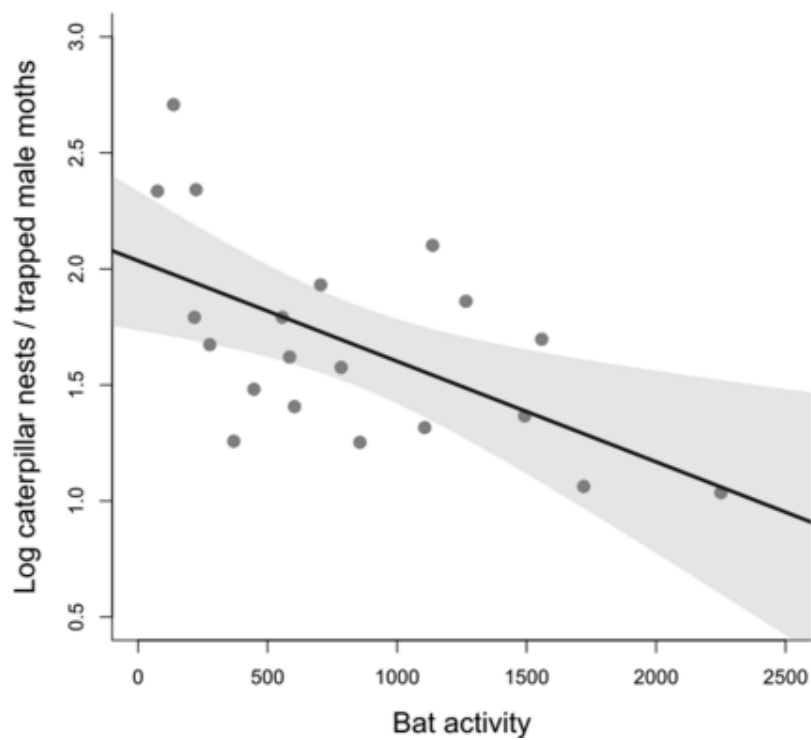


Figure 14 : Effet de l'activité totale des chauves-souris sur le succès de reproduction des proies (ratio de colonies de larves par papillon mâle capturé) le long de 21 lisières échantillonnées (Charbonnier *et al.*, 2014)

Outre la régulation des insectes ravageurs de cultures comme le riz ou le maïs, les chauves-souris jouent également un rôle comme agents de lutte biologique contre les ravageurs forestiers. Dans une étude publiée en 2014, Charbonnier *et al.*, étudient les réponses numériques et fonctionnelles des chauves-souris face aux chenilles Processionnaires du pin (*Thaumetopoea pityocampa*).

Par la mise en place d'enregistreurs, les auteurs ont pu démontrer qu'il existait une corrélation temporelle entre l'activité des chauves-souris et celle des papillons de processionnaires. En effet, les chauves-souris étaient plus actives pendant les heures suivant le coucher du soleil, une période qui correspond étroitement au pic d'activité des papillons processionnaires adultes. L'activité des chauves-souris augmentait de manière significative avec l'abondance des papillons adultes, et notamment pour *Pipistrellus kuhlii* pour qui l'activité était fortement corrélée avec l'abondance des papillons, mais aussi pour *Eptesicus serotinus* et *Nyctalus leisleri*. C'est un peu moins le cas pour *Pipistrellus pipistrellus*, pour qui l'activité était également liée à l'abondance des papillons, mais avec un impact moindre (Charbonnier *et al.*, 2014).

En outre, une relation négative a été constatée entre l'activité des chauves-souris et le succès reproductif des papillons, mesuré par le ratio des colonies larvaires (hiver suivant) par rapport aux mâles capturés (fig. 14). Concernant les réponses spécifiques des chauves-souris, les espèces de chauves-souris plus grandes, comme *E.serotinus* et *N.leisleri*, ont montré des réponses fonctionnelles plus marquées, augmentant leurs tentatives de capture en présence d'agrégats artificiels de papillons (leurres). Les plus petites espèces, comme *P.pipistrellus*, n'ont pas présenté une augmentation significative des "buzz" de chasse, probablement en raison de contraintes énergétiques liées à la manipulation des grandes proies (Charbonnier *et al.*, 2014).

Enfin, les colonies larvaires étaient moins nombreuses dans les zones où l'activité des chauves-souris était élevée. Cela suggère une régulation descendante (top-down) efficace par les chauves-souris sur la population de processionnaires, en réduisant leur succès reproductif (Charbonnier *et al.*, 2014).

Les chauves-souris, par leurs réponses numériques et fonctionnelles, contribuent donc à la régulation des populations de processionnaires, en réduisant leur succès reproducteur. Cela met en lumière leur rôle potentiel comme régulateur des insectes ravageurs dans les plantations forestières, surtout dans des conditions de faible densité de proies (Charbonnier *et al.*, 2014).

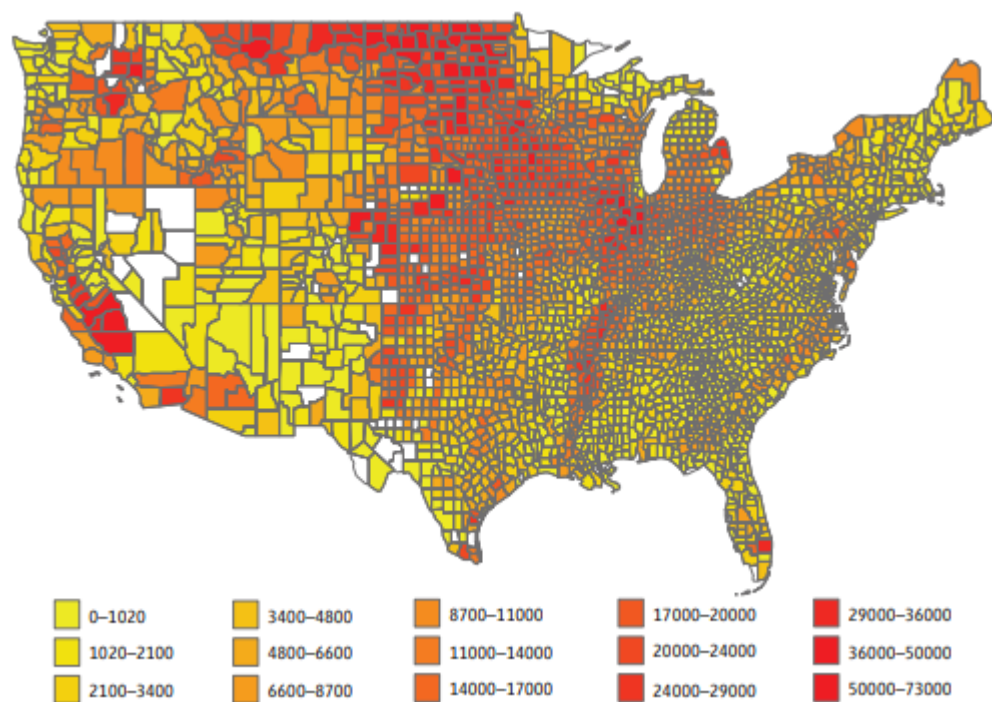


Figure 15 : Valeur annuelle (en \$) estimée des chauves-souris insectivores dans l'industrie agricole aux Etats-Unis et par comté (Boyles *et al.*, 2011)

Les valeurs ($\times 1\,000$ \$ par comté) supposent que les chauves-souris ont une valeur de coût évité d'environ 74 \$/acre de terres cultivées

2.2 Un atout économique

Par leur rôle de régulateur naturel des insectes ravageurs de cultures, les chauves-souris ont un impact économique non négligeable pour les agrosystèmes. Peu d'études existent en France sur le sujet, mais des chercheurs aux Etats-Unis ont estimé que les conséquences économiques d'un déclin massif des chauves-souris pourraient être considérables (Boyles *et al.*, 2011). Dans une étude publiée en 2011, Boyles *et al.*, ont estimé que la valeur des services de régulation des ravageurs fournis par les chauves-souris varie d'environ 12 à 173\$/acre (avec un scénario le plus probable de 74\$/acre) dans un paysage agricole dominé par le coton dans le centre-sud du Texas (Boyles *et al.*, 2011) (fig. 15). *In fine*, la valeur des chauves-souris pour l'industrie agricole pourrait être d'environ 22,9 milliards de dollars/an (Boyles *et al.*, 2011). Ces estimations incluent les coûts réduits des applications de pesticides qui ne sont pas nécessaires pour supprimer les insectes consommés par les chauves-souris (Boyles *et al.*, 2011). Cependant, elles n'incluent pas les impacts « en aval » des pesticides sur les écosystèmes, qui peuvent être substantiels (Peshin & Dhawa, 2009).

Dans une autre étude datant de 2006, Cleveland *et al.*, ont estimé que l'espèce *Tadarida brasiliensis* représentait une valeur économique annuelle moyenne de 741 000 \$ par an, avec une fourchette de 121 000 à 1 725 000 \$, par rapport à une récolte annuelle de coton de 4,6 à 6,4 millions de dollars par an (Cleveland *et al.*, 2006).

Dans une étude s'intéressant à la culture du maïs, Maine & Boyles (2015) ont estimé que la suppression des ravageurs de cultures du maïs par les chauves-souris permettait une économie de 1 milliard de dollars à l'échelle mondiale pour cette seule culture (Maine & Boyles, 2015).

3. Pour une meilleure intégration des chiroptères

Afin de tirer parti du rôle d'auxiliaire de culture des chiroptères, il est important d'intégrer une gestion des espaces agricoles respectueuse de l'environnement. Pour ce faire, plusieurs variables peuvent être étudiées via les infrastructures agroécologiques, l'aménagement des bâtiments agricoles ou encore la considération des chiroptères dans la gestion du bétail et des traitements antiparasitaires.

3.1 Infrastructures agroécologiques

Plusieurs études ont déjà montré que l'intensification agricole et la dégradation du maillage écologique ont une part de responsabilité dans le déclin des populations de chauves-souris d'Europe (Lamotte, 2006). Cependant, il reste à définir les pratiques qui impactent réellement la diversité des chiroptères et en quoi la structuration d'éléments agroécologiques dans le paysage peut être un élément déterminant pour leur diversité et leur activité.

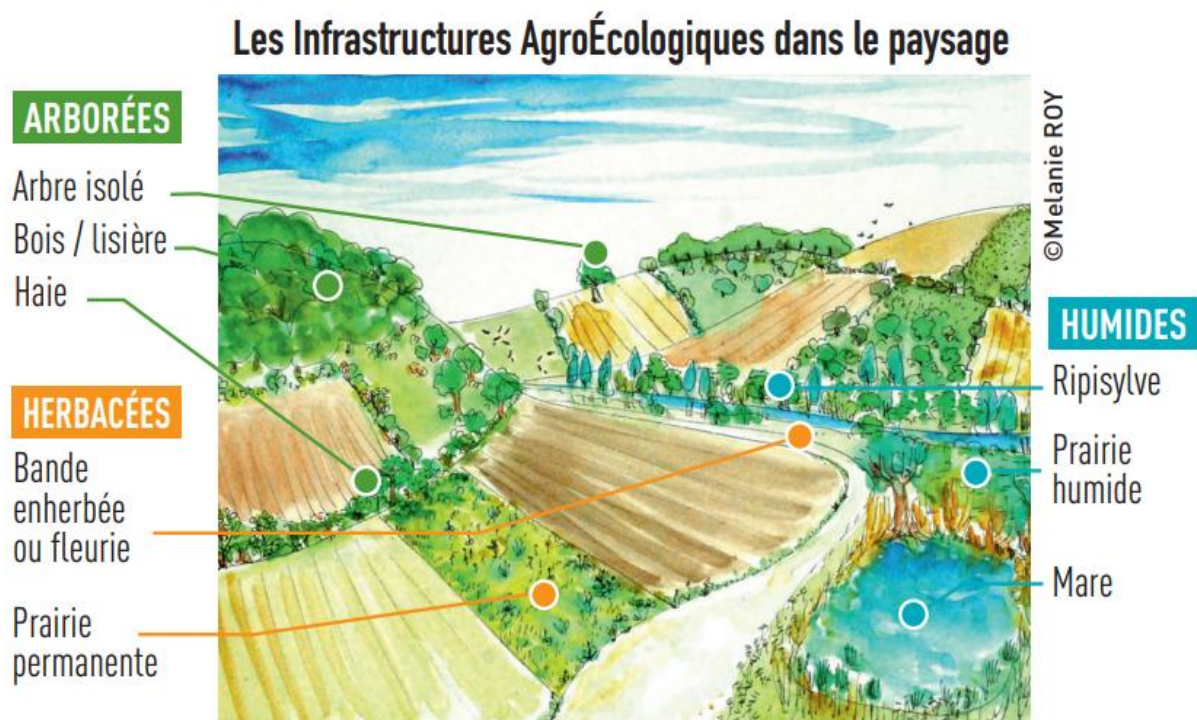


Figure 16 : Exemple d'infrastructures agroécologiques dans un paysage agricole (Roy, Chambre d'agriculture de l'Aude)

Tableau II : Effets des variables locales et paysagères des haies sur les indices des espèces et des communautés de chauves-souris (d'après Lacoëuilhe et al., 2018)

Espèces / Communautés	Stratégie de chasse	Echelle locale					Echelle paysagère		
		Alignements d'arbres	Haies arbustives	Haie boisés	Haie à 3 strates	Distance à la haie	Densité	Production de bois	Diversité
		Effets significatifs (positif (+) ou négatif (-))							
B.barbastellus	NA			+					
E.serotinus	Faucheur		+			-	-	+	
P.kuhlii	Faucheur				-				-
P.nathusii	Faucheur				-			+	-
P.pipistrellus	Faucheur		+	+	-				-
N.leisleri	Faucheur	-	-	-		-		+	
N.noctula	Faucheur								
Myotis spp.	Glaneur								
Plecotus spp.	Glaneur			+					
Espèces "faucheuses"	/	+	+		-				-
Espèces "glaneuses"	/	+	-	-			+		+

On peut alors se demander quelles sont les variables associées aux infrastructures agroécologiques (IAE) qui influencent le plus la diversité des chiroptères en milieux agricoles.

Ces IAE correspondent à des habitats semi-naturels qui ne reçoivent ni fertilisants chimiques, ni pesticides et qui sont gérés de manière extensive. Il s'agit des haies, bosquets, lisières, bandes enherbées, prairies naturelles, mares et tous les milieux peu ou pas anthropisés (Dubois, 2008) (fig. 16).

3.1.1 Haies bocagères

Il est admis aujourd'hui que les haies constituent un milieu favorable pour les chiroptères, cependant, il est intéressant d'étudier et d'identifier les facteurs influençant l'activité des chiroptères et de déterminer l'importance de ces derniers à une échelle locale et paysagère. L'étude de Lacoëuilhe *et al.* (2018), porté sur les effets relatifs des caractéristiques locales et paysagères des haies sur les chauves-souris a permis d'évaluer l'influence de la structure des haies sur leur activité avec une approche à la fois par espèce et par communauté.

Tout d'abord, les caractéristiques des haies (longueur, composition, nombre de strates, distance à la haie la plus proche, présence de gros arbres) sont déterminantes pour les chauves-souris à la fois à l'échelle locale et paysagère, même si les réponses diffèrent selon les espèces et les échelles spatiales. Bien que les chauves-souris soient des espèces mobiles qui peuvent parcourir des kilomètres pour atteindre leurs territoires d'alimentation, les variables locales exercent une influence significative sur leurs activités (Lacoëuilhe *et al.*, 2018) (Tableau II).

Les variables locales des haies ont la même influence sur l'activité des chauves-souris que les variables à une échelle paysagère sauf pour *E. serotinus* et le groupe des chiroptères glaneurs où les variables à une échelle paysagère ont un effet plus important. Quelle que soit l'échelle considérée, la présence d'arbres de haut jet et d'un volume de bois important influence positivement l'activité des chauves-souris. À l'inverse, quelle que soit l'échelle considérée, les variables représentant la diversité des strates (variable « haies à 3 strates » et « diversité ») ont généralement un effet négatif. Autrement dit, les espèces semblent préférer les paysages agricoles dominés principalement par les haies boisées (Lacoëuilhe *et al.*, 2018). De plus, les haies boisées sont des habitats semi-naturels qui offrent les conditions favorables pour que de nombreux insectes puissent effectuer leur cycle de vie, par conséquent, ces dernières contribuent directement à augmenter à la fois l'abondance et la diversité des insectes (Merckx *et al.*, 2010).

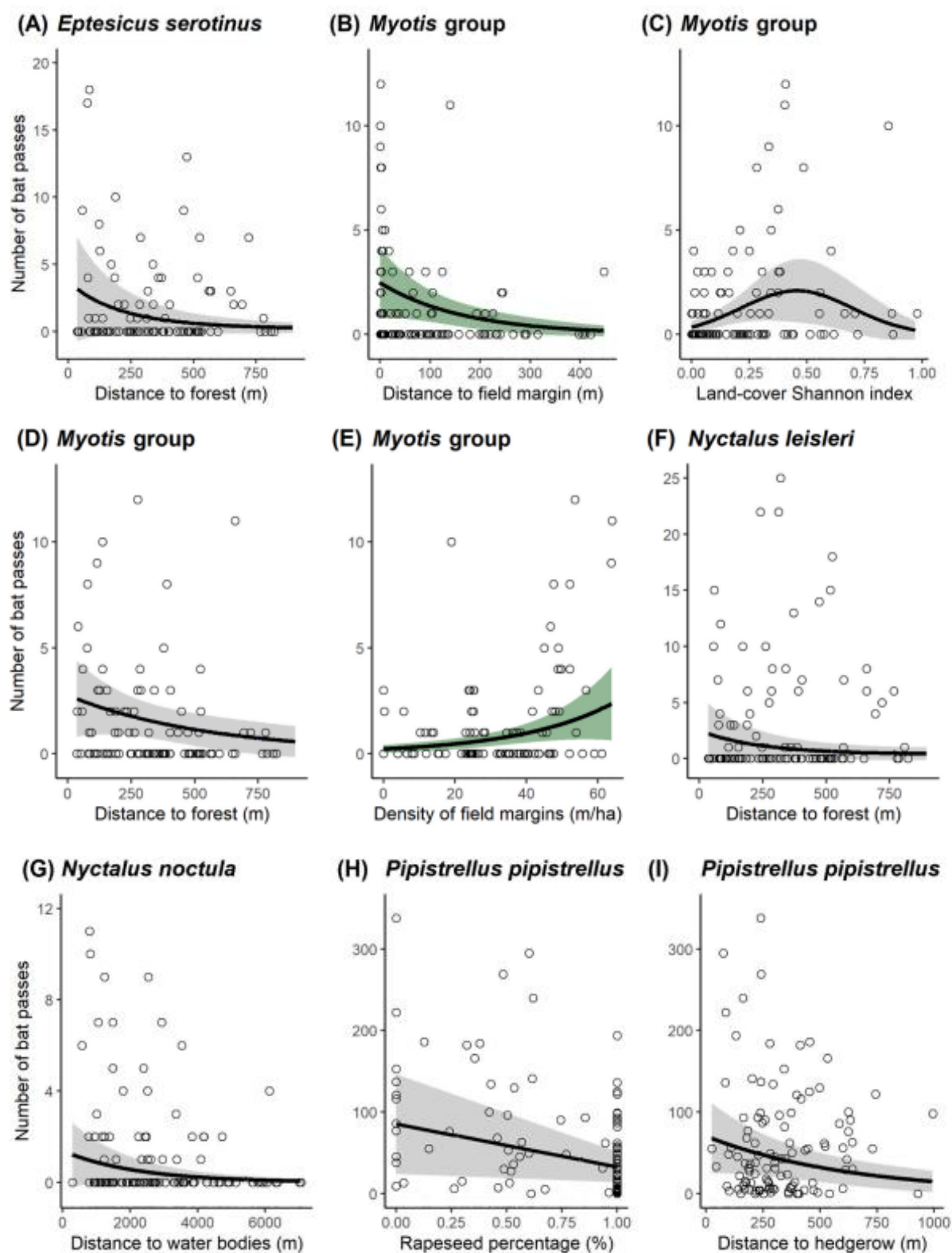


Figure 17 : Relations entre le nombre de passages de chauves-souris par nuit et différentes covariables environnementales significatives avec une valeur $p < 0,01$ (Blary *et al.*, 2021)

En résumé, la densité du linéaire de haies, la diversité de structure des haies et la quantité de bois qu'elles contiennent exercent une influence positive sur l'abondance des neuf espèces de chauves-souris étudiées. C'est la quantité de bois présent dans la haie qui semble être la variable dont l'effet positif est le plus marqué sur l'abondance des chiroptères. Conserver les haies avec différentes espèces pour séparer les parcelles ou maintenir les arbres têtards sont donc des bons moyens pour favoriser la biodiversité (Lacoeuilhe *et al.*, 2018).

3.1.2 Lisières et bandes enherbées

Les bordures de champs cultivés sont des habitats linéaires largement présents dans les paysages agricoles. Ils ont été identifiés comme un habitat clé pour de nombreux taxons (Marshall & Moonen, 2002). En effet, les bordures de champs spontanées ou semées abritent de nombreuses espèces menacées qui ont disparu ou sérieusement diminué au cœur du champ, mais persistent toujours dans les bordures de champs (Fried *et al.*, 2009).

Une étude de Blary *et al.* (2021), portée sur l'évaluation de l'importance des bordures de champs pour les chauves-souris a permis de documenter que l'activité du groupe *Myotis* diminuait avec la distance aux bordures des champs et augmentait avec la densité relative des bordures des champs (Blary *et al.*, 2021) (fig. 17). Ces réponses avaient un effet comparable, voire supérieure, à celle d'autres variables du paysage telles que la distance à la forêt, la densité relative des routes principales, la proportion de zones urbaines ou le pourcentage de colza. Cependant, les résultats ont également montré que, contrairement aux bordures des champs, d'autres covariables du paysage telles que les forêts, les haies ou encore la diversité végétale influençaient presque systématiquement l'activité des chauves-souris (Blary *et al.*, 2021).

Les résultats de cette étude soulignent ainsi que les bordures de champ herbacées peuvent avoir un effet positif sur l'activité des chauves-souris qui se nourrissent dans des espaces étroits, mais ne remplacent pas d'autres éléments du paysage qui déterminent presque systématiquement l'activité des chauves-souris comme les haies ou les zones humides par exemple (Blary *et al.*, 2021).

3.1.3 Mares

Les mares, au même titre que les haies ou les bandes enherbées, sont des IAE favorables aux chiroptères. Elles représentent pour les chauves-souris une source précieuse d'eau et une zone de recherche de nourriture attrayante en raison notamment des insectes émergents (Korine *et al.*, 2016).

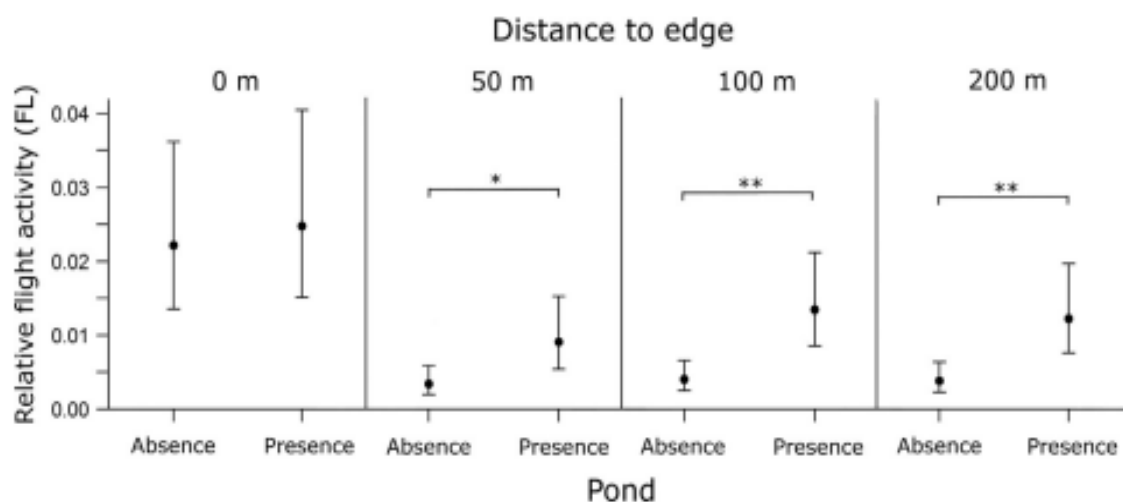


Figure 18 : Effets interactifs entre la distance et la présence de l'étang sur l'activité de vol relative de *Pipistrellus pygmaeus* (Heim *et al.*, 2017)

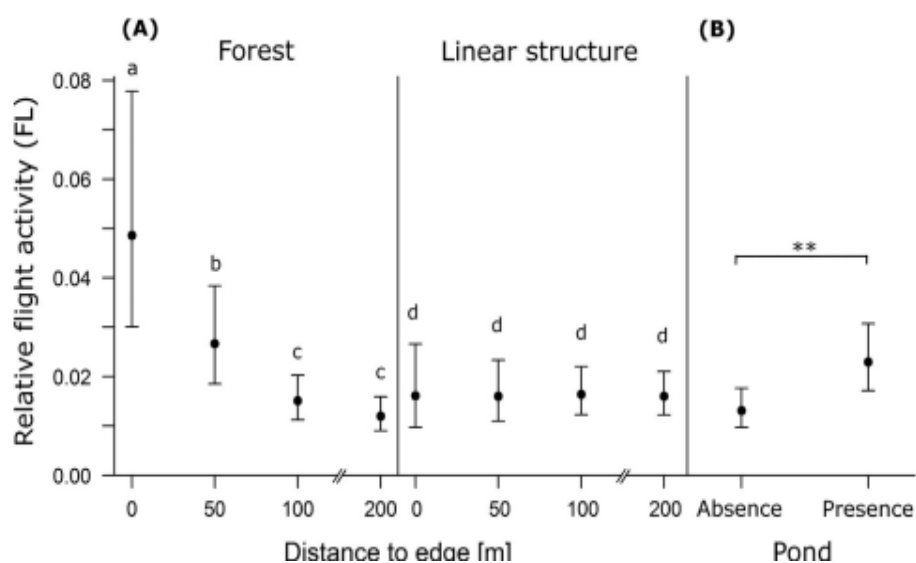


Figure 19 : Effets sur l'activité de vol de *Nyctalus noctula* (Heim *et al.*, 2017)

(A) L'activité de vol variait en fonction de la distance au bord en interaction avec le type de végétation

(B) L'activité de vol était positivement influencée par la présence d'un étang

Une étude de Heim *et al.* (2017), démontre que l'activité de vol de *P.pygmaeus* était environ 2,7 à 3,3 fois plus actif au-dessus du champ cultivé à des distances de 50 m à 200 m lorsqu'une mare était présente par rapport aux champs cultivés sans mares, tandis que l'activité au bord était similaire entre les champs avec et sans mares (Heim *et al.*, 2017) (fig. 18). Pour *N.noctula*, la relation entre l'activité de vol et la distance à la lisière est influencée par le type de végétation : pour les éléments linaires, l'activité de vol de *N.noctula* est élevée à toutes les classes de distance, au contraire, pour la lisière forestière, l'activité de vol est environ trois fois plus élevée par rapport aux éléments linéaires. L'activité relative de *N.noctula* était en outre influencée par la présence de mare, avec une activité globale 1,8 fois plus élevée pour les champs avec une mare contre les champs sans mares (Heim *et al.*, 2017) (fig. 19). Les mares situées dans la matrice agricole à proximité des structures végétales pourraient donc être importantes pour soutenir l'interaction des chauves-souris avec les insectes au-dessus des champs cultivés et pourraient donc combler la distance entre les structures végétales semi-naturelles et les champs ouverts isolés (Heim *et al.*, 2017).

3.2 Pratiques agricoles

De nombreuses espèces de chauves-souris étant inféodées aux milieux agricoles, elles dépendent directement des pratiques. Il a été montré que l'appauvrissement des proies, la diminution des surfaces en prairies, l'application de pesticides et l'usage de produits antiparasitaires ont un impact notable sur les populations de chauves-souris (Lamotte, 2006). De plus, les changements de pratiques agricoles affectent la richesse spécifique autant par la détérioration de l'habitat que par les effets indirects de l'apport d'intrants (Burel et Baudry, 1995).

3.2.1 Travail du sol et utilisation d'herbicides

Une étude de Barré *et al.* (2017), sur le lien entre l'intensité du labour et l'utilisation d'herbicide démontre que le labour pratiqué en agriculture biologique (OT : organic tillage fields) permet une activité des chauves-souris plus importante par rapport au labour pratiqué en agriculture conventionnelle (T : tillage fields) (Barré *et al.*, 2017). Ces différences suggèrent que les pesticides utilisés dans le système conventionnel ont un effet délétère important sur les chauves-souris. Le système de labour de conservation (labour moins profond qu'en système conventionnel) utilisant de l'herbicide (CTH : conservation tillage fields more herbicide) a également eu des effets négatifs par rapport au système biologique, suggérant que les éventuels effets positifs du labour de conservation n'ont pas atténué les effets négatifs des herbicides. Cependant, il n'y a pas eu de différence significative entre le système biologique (OT) et le système de labour de conservation (CT : conservation tillage fields) n'utilisant pas d'herbicides (Barré *et al.*, 2017)

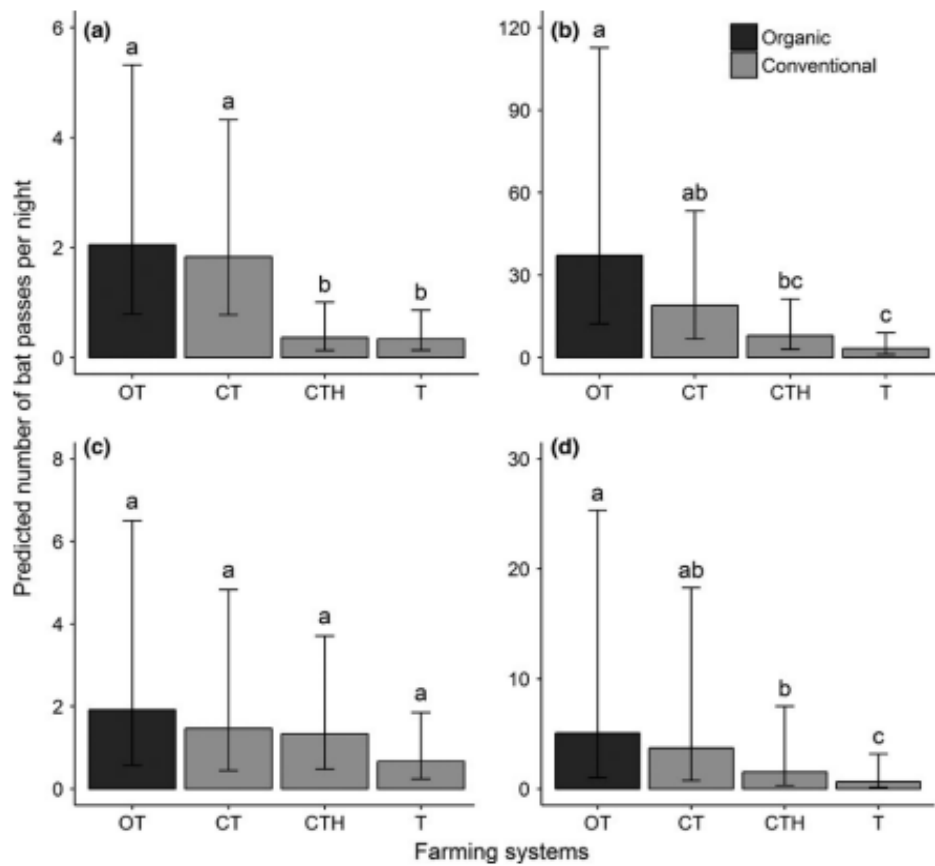


Figure 20 : Nombre de passages de chauves-souris par nuit avec un intervalles de confiance à 95 % associés dans les 4 systèmes* (Barré *et al.*, 2017)

(a) *P. kuhlii*, (b) *P. pipistrellus*, (c) *P. nathusii* et (d) *Pipistrellus spp.*

* : OT = agriculture biologique (labour superficiel) CT = agriculture de conservation (labour de faible profondeur), CTH = agriculture de conservation avec utilisation d'herbicides, T = agriculture conventionnelle (labour profond + herbicides)

Ce résultat majeur suggère qu'il est peut-être possible d'approcher les effets positifs de l'agriculture biologique en agriculture conventionnelle grâce à la réduction des herbicides et à l'utilisation du labour de conservation. De plus, dans les systèmes conventionnels, le labour traditionnelle (retournement du sol à 30 cm de profondeur) semble être moins attractif pour les chauves-souris que le labour de conservation (labour superficiel du sol) (Barré *et al.*, 2017) (fig. 20).

3.2.2 Intensité de fauche, pâturage et fertilisation

D'autres pratiques agricoles telles que la fauche, le pâturage ou encore la fertilisation peuvent influencer l'activité et la diversité des chiroptères.

Une étude de Henigfeld (2014), sur l'effet des pratiques agricoles sur l'activité des chiroptères montre que la diversité taxonomique, exprimée par l'indice de diversité de Shannon, est corrélée à la quantité de chaux, à l'intensité d'utilisation de l'herbe, aux nombres de jours de présence au pâturage et aux variables décrivant la fauche (Henigfeld, 2014). Quant à la richesse fonctionnelle, les variables qui y sont le plus associées sont la date de la première fauche, l'intensité de défoliation de la prairie, le type d'animal d'élevage, le cas-type d'exploitation, la quantité totale de phosphore, le type d'utilisation de la parcelle (pâturage ou fauche) et le type de fertilisation organique (Henigfeld, 2014). Les systèmes agricoles types « bovins lait à l'herbe », associé à des pratiques agricoles raisonnées, sont favorables à la présence de nombreuses espèces de chauves-souris par rapport aux systèmes associés à des cultures de maïs (Henigfeld, 2014). En effet, les champs de maïs, gérés de manière intensive, sont moins favorables pour l'abondance et la diversité en insectes (Biadi, 1998). En définitive, cette étude révèle que la diversité taxonomique et fonctionnelle des chiroptères est dépendante des pratiques de fertilisation organique et minérale, de fauche et de pâturage. La fertilisation organique est en particulier corrélée négativement aux indices de diversité (Henigfeld, 2014).

3.3 Les bâtiments agricoles

En raison de la pression exercée sur les habitats naturels, de nombreuses espèces de chauves-souris sont peu à peu devenues anthropophiles, notamment lors des mises-bas, où il est assez courant de rencontrer des colonies dans de vieilles granges ou de vieux bâtiments agricoles. Ces derniers sont en effet favorables à l'accueil de chauves-souris : ils offrent des endroits calmes, sombres et protégés des prédateurs (Tuttle *et al.*, 2013). De plus, ces structures sont souvent entourées de champs, prairies et forêts riches en insectes. Enfin, les greniers, les fissures dans les murs, et les toitures offrent des points d'entrée faciles. Les chauves-souris étant capables de se faufiler à travers un interstice d'à peine 1,3 cm, ce sont surtout les vieilles habitations qui sont colonisées, toutefois, l'implantation d'une colonie n'est pas systématique.



Figure 21 : Colonie de Murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*) (Jouve, Le bien public)



Figure 22 : Exemple de gîte à chauves-souris artificiel (WILDCARE)

Pour s'installer, une colonie de chauves-souris a besoin d'un espace qui soit à l'abri des prédateurs et des intempéries et qui procure une température stable tout au long de l'été (Tuttle *et al.*, 2013) (fig. 21). Pour rendre un bâtiment attractif, il est possible de conserver les abris existants ou d'en créer de nouveaux, grâce à des aménagements artificiels. Dans le cas où l'accès à l'intérieur du bâtiment serait inexistant, il est possible de laisser des espaces libres dans l'avant-toit où les chauves-souris peuvent s'agripper. En ce qui concerne les aménagements artificiels, tel que les gîtes, ils ont pour vocation d'offrir des alternatives aux chauves-souris afin de combler le manque d'abris naturels lorsque ceux-ci sont détruits (Brittingham & Williams, 2000) (fig. 20).

Pour garantir des conditions optimales aux chauves-souris et ainsi augmenter les chances de colonisation, il faut avant tout offrir un dortoir adapté aux rigueurs du climat local. Il doit être bien isolé de la pluie, des fluctuations de températures extérieures et être exposé le plus longtemps possible au soleil (Tuttle *et al.*, 2013). Il faut aussi penser à minimiser le risque de prédation, la distance aux terrains de chasse et aux points d'eau environnants. (Tuttle *et al.*, 2013).

3.4 Traitement du bétail et chiroptères

En raison de leur régime alimentaire insectivores, les chiroptères sont tributaires pour leur survie de la variation des populations des espèces proies. Or, ces espèces proies dépendent des pratiques agricoles, lié aux traitements antiparasitaires du bétail notamment (Caroff *et al.*, 2003). Dans les deux dernières décennies, il a été montré que certaines familles de molécules utilisées dans les traitements antiparasitaires, comme l'ivermectine et le mylbémicine, peuvent affecter la faune coprophage, en inhibant notamment le développement des larves de certaines espèces (Lumaret & Errouissi, 2002). Or, les insectes coprophages constituent une part importante du régime alimentaire des chauves-souris, comme pour le Grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) par exemple (Caroff *et al.*, 2003).

L'usage de ces produits pose donc des questionnements quant aux effets liés à une diminution de proies essentielles, mais aussi quant à une contamination indirecte par la consommation d'insectes intoxiqués. Peu de littérature scientifique existe à ce sujet, mais une étude de DeMarco *et al.* (2002), a mis en évidence un cas de mortalité lié directement à l'usage de ces composés chez les chauves-souris de l'espèce *Cynopterus brachyotis* (DeMarco *et al.*, 2002). Les auteurs de cette étude ont montré que l'application de ce produit pouvait entraîner la paralysie, des difficultés respiratoires ou la mort des individus.

Tableau III : Molécules utilisées dans les traitements antiparasitaires, à privilégier, à éviter ou à proscrire afin de limiter l'impact sur l'environnement (Hénoux *et al.*, 2014)

Molécules à privilégier		Molécules à éviter ou à utiliser ponctuellement		Molécules à proscrire
Nétobimin	Cambendazole	Moxidectine	Cyperméthrine	Ivermectine
Oxyclozanide	Fenbendazole	Fébantel	Deltaméthrine	Abamectine
Nitroxinil	Mébendazole	Phénothiazine	Cyhalothrine	Doramectine
Levamisole	Oxfendazole	Coumaphos	Permethrine	Eprinomectine
Albendazole	Imidazothiazoles	Ruélène	Fenvalérate	Dichlorvos
Triclabendazole	Salicylanilides	Pipérazine	Diflubenzuron	
Closantel		Alfa-cyperméthrine	Clorsulon	
		Fluméthrine	Triflumuron	
		Méthoprene		

Sur 40 individus traités, 11 individus ont montré des signes de paralysie, des difficultés respiratoires et de la prostration 24 heures après. Sur ces 11 individus, 6 se sont rétablis dans les 24-48 heures, alors que les 5 autres sont décédés ou ont été euthanasié. Les auteurs affirment que, même inattendue, la toxicité observée était selon toute probabilité due à l'ivermectine (DeMarco *et al.*, 2002).

Afin de limiter les risques liés à l'utilisation de ces molécules et de permettre une meilleure cohabitation entre bétail et chiroptères, quatre étapes sont essentielles : connaître les parasites et leurs cycles reproductifs, surveiller l'état de santé des animaux, estimer le risque parasitaire et raisonner les traitements en les choisissant par rapport aux résultats coprologiques et aux catégories d'animaux. De manière générale, il faut privilégier les produits les moins toxiques pour l'environnement et en particulier pour la faune coprophage et choisir des produits spécifiques des parasites affectant l'animal (Hénoux *et al.*, 2014) (Tableau III).

Conclusion

Les chauves-souris jouent un rôle clé dans la régulation des insectes ravageurs grâce à leur capacité à consommer une grande variété de proies, incluant des ravageurs de cultures, affirmant leur rôle d'auxiliaire pour le milieu agricole. Leur activité de chasse nocturne contribue à limiter les dégâts causés par ces insectes, réduisant ainsi la dépendance aux produits chimiques de synthèse. Par ailleurs, en diminuant les populations d'insectes vecteurs de maladies fongiques, les chauves-souris améliorent indirectement la qualité des récoltes. Ces services écosystémiques se traduisent par des gains économiques significatifs pour les agriculteurs, tout en favorisant une gestion durable des agroécosystèmes.

Afin de mieux prendre en compte ces auxiliaires, il est important d'encourager la présence des chauves-souris en milieu agricole, notamment par la mise en place d'infrastructures agroécologiques telles que les haies, les bandes enherbées ou les mares mais également d'adopter des pratiques agricoles respectueuses de la biodiversité. Ces aménagements simples et peu coûteux permettent de pallier les menaces pesant sur les populations de chauves-souris. De plus, en intégrant des pratiques agricoles vertueuses, il est possible de renforcer les services rendus par ces mammifères tout en valorisant la biodiversité.

Les chauves-souris représentent donc une ressource naturelle précieuse pour une agriculture durable, à condition que des mesures soient prises pour protéger et renforcer leurs populations. La promotion des infrastructures agroécologiques tel que les haies et la sensibilisation des acteurs agricoles sur les bénéfices de ces espèces sont essentielles pour garantir leur pérennité et maximiser leur impact positif sur les agroécosystèmes.

Références

Bibliographie

- ANBDD (2021). Les indicateurs biodiversité de Normandie. Etat et évolution de la densité et de la connectivité des haies en Normandie. 19pp.
- Arthur L, Lemaire M (2021). Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg & Suisse, 3^{ème} édition. Biotope éditions. 592pp.
- Barré K, Le Viol I, Julliard R, Chiron F, Kerbiriou C (2017). Tillage and herbicide reduction mitigate the gap between conventional and organic farming effects on foraging activity of insectivorous bats. *Ecology and Evolution* 1–11.
- Baudry J, Bunce R.G.H, Burel F (2000). Hedgerows : An international perspective on their origin, function and management. *Journal of Environmental Management* **60** : 7–22.
- Bennett A.F, Radford J.Q, Haslem A (2006). Properties of land mosaics : implications for nature conservation in agricultural environments. *Biological Conservation*, **133** : 250–264.
- Benton T.G, Vickery J.A, Wilson J.D (2003). Farmland biodiversity : is habitat heterogeneity the key ? *Trends in Ecology & Evolution*, **18** : 182–188.
- Biadi F, (1998). La faune sauvage, indicateur écologique de l'évolution de l'agriculture : Impacts des systèmes et des pratiques agricoles sur la faune sauvage. *Comptes rendus de l'Académie d'agriculture de France*. **84** : 125-138.
- Blary C, Kerbiriou C, Le Viol I, Barré K (2021). Assessing the importance of field margins for bat species and communities in intensive agricultural landscapes. *Elsivier*.
- Boughey K.L, Lake I.R, Haysom K.A, Dolman P.M (2011). Improving the biodiversity benefits of hedgerows : how physical characteristics and the proximity of foraging habitat affect the use of linear features by bats. *Biological Conservation*, **144** : 1790–1798.
- Boyles J, Cryan P, Mccracken G.F, Kunz T.H (2011). Economic Importance of Bats in Agriculture. *Science*. **332** : 41-2.
- Brittingham M.C, Williams L.M (2000). Bat boxes as alternative roosts for displaced bat maternity colonies. *Wildlife Society Bulletin*. **68** : 197-207.
- Burel F, Baudry J (1995). Species biodiversity in changing agricultural landscapes : A case study in the Pays d'Auge, France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **55** : 193 – 200.

- Caroff C, Duranel A, Roué S.Y (2003). Traitements antiparasitaires du bétail, insectes coprophages et chauves-souris. L'envol des chiros. **7** : 7-14.
- Carré B (2018). Pyrale du buis : une aubaine pour les chauves-souris ? Essai de synthèse des observations naturalistes en France. Plume de Naturalistes **2** : 119-124.
- Charbonnier Y, Barbaro L, Theillout A, Jactel H (2014). Numerical and Functional Responses of Forest Bats to a Major Insect Pest in Pine Plantations. PLoS ONE 9(10).
- Charbonnier Y, Papura D, Touzot O, Rhouy N, Sentenac G, Rusch A (2021). Pest control services provided by bats in vineyard landscapes. Elsevier. Agriculture, Ecosystems & Environment. Vol 306.
- Cleveland C, Betke M, Federico P, Frank J.D, Hallam T.G, Horn J, López Jr J.D, McCracken G.F, Medellín R.A, Moreno-Valdez A, Sansone C.G, Westbrook J.K, Kunz T.H (2006). Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bats in south-central Texas. Front Ecol Environ **4(5)** : 238–243
- De Marco J.H, Heard D.J, Fleming G.J, Lock B.A, Scase T.J (2002). Ivermectin toxicosis after topical administration in dog-faced fruit bats (*Cynopterus brachyotis*). Journal of Zoo and Wildlife Medicine **33** : 147- 150.
- Dietz C, Von Elersen O, Nill D (2009). L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord. Delachaux et Niestlé, Paris. 400pp.
- DREAL (2011). Atlas des paysages de Normandie. Unité paysagère 8 – Le bocage du cotentin intérieur. 31pp.
- Dubois G (2008). Les « infrastructures agro-écologiques » : état des lieux dans les communes françaises. Economie et évaluation. N°145, 4 pp.
- Frey-Ehrenbold A, Bontadina F, Arlettaz R, Obrist M.K (2013). Landscape connectivity, habitat structure and activity of bat guilds in farmland-dominated matrices. J. Appl. Ecol, **50** : 252-261.
- Fried G, Petit S, Dessaint F, Reboud X (2009). Arable weed decline in Northern France : crop edges as refugia for weed conservation ? Biol. Cons. **142** : 238–243.
- Gelling M, Macdonald D.W, Mathews F (2007). Are hedgerows the route to increased farmland small mammal density ? Use of hedgerows in British pastoral habitats. Landscape Ecology, **22** : 1019–1032.
- GMN, CPIE (2024). Haies et espèces protégées dans l'Orne : Diagnostic et cartographie. Rapport final. 110pp.
- Godineau F, Pain D (2007). Plan de restauration des chiroptères en France métropolitaine, 2008 – 2012. Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères / Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables. 79 pp.

- Graham L, Gaulton R, Gerard F.T, Staley J (2018). The influence of hedgerow structural condition on wildlife habitat provision in farmed landscapes. *Biol. Conserv*, **220** : 122–131.
- Heim O, Lenski J, Schulze J, Jung K, Kramer-Schadt S, Eccard J, C.Voigt C (2017). The relevance of vegetation structures and small water bodies for bats foraging above farmland. *Basic and Applied Ecology*.
- Hein C.D, Castleberry S.B, Miller K.V (2009). Site-occupancy of bats in relation to forested corridors. *For. Ecol. Manag.* **257** : 1200–1207.
- Henigfled C (2014). Effets des pratiques agricoles et des infrastructures agroécologiques sur la diversité des Chiroptères. Mémoire de stage. Université de Lorraine. 38pp.
- Hénoux V, Lombardini K, Vadon A, Debieesse L, Boutefeu M, Constantin P (2014). Guide technique n°2 : Gestion du parasitisme bovin et faune coprophage. Programme Life + Chiro med 2010 – 2014. 56pp.
- Jones G, Jacobs D.S, Kunz T.H, Willig M.R, Racey P.A (2009). Carpe noctem : the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research*, **8** : 93–115.
- Korine C, Adams R, Russo D, Fisher-Phelps M, Jacobs D (2016). Bats and water : Anthropogenic alterations threaten global bat populations. 215–241pp.
- Kunz T.H, Braun de Torrez E, Bauer D, Lobova T, Fleming T.H (2011). Ecosystem services provided by bats. *New York Academy of Sciences* **1223** : 1–38.
- Lacoeuilhe A, Machon N, Julien J.F, Kerbirou C (2018). The relative effects of local and landscape characteristics of hedgerows on bats. *Diversity*, 10(3) : 72.
- Lamotte S (2006). L'érosion de la biodiversité : Les Mammifères Partie « Chauves-souris ». Rapport analytique 2006 sur l'état de l'environnement wallon, 112 p.
- Lauer M, Tillon L (2023). Chauves-souris et forêt, des alliées indispensables. Centre national de la propriété forestière. Paris. 62pp.
- Lepetz C (2015). Comment concilier pratiques agricoles et préservation des chiroptères ? Mémoire de stage. Université de Franche-Comté. 40pp.
- Lumaret J.P, Errouissi F (2002). Use of anthelmintics in herbivores and evaluation of risks for the non target fauna of pastures. *Veterinary Research* **33** : 547-562.
- Maine J.J, Boyles J.G (2015). Bats initiate vital agroecological interactions in corn. *Proc. Natl. Acad. Sciences*, **112** (40) : 12438-12443.
- Marshall E.J.P, Moonen A.C (2002). Field margins in northern Europe : their functions and interactions with agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* **89** : 5–21.

- Matson P.A, Parton W.J, Power A.G, Swift M.J (1997). Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science*, **277** : 504–509.
- Matutini F, Pinaud D, Leuchtman M (2022). Le bocage, un paysage d'intérêt pour les chiroptères. *Le courrier de la nature – Numéro spécial*. 41 : 45.
- McCracken G.F, Westbrook J.K, Brown V.A, Eldridge M, Federico P, Kunz T.H (2012). Bats Track and Exploit Changes in Insect Pest Populations. *PLoS ONE* 7(8).
- Menthière C, Falcone P, Piveteau V, Ory X (2023). La haie, levier de la planification écologique. CGAAER, rapport n° 22114. 116pp.
- Merckx T, Feber R, Mclaughlan C, Bourn N.A.D, Parsons M.S, Townsend M.C, Riordan P, Macdonald D.W (2010). Shelter benefits less mobile moth species : The field-scale effect of hedgerow trees. *Agric. Ecosyst. Environ.* **138** : 147–151.
- Nowicki F, Arthur L, Dorey J, Rael V, Rouselle K. Guide méthodologique : chiroptères et infrastructure de transport. CEREMA. Editions références. 167pp.
- Peshin R, Dhawan A.K (2009). Integrated Pest Management : Innovation Development Process. Volume 1 : Innovation-Development Process. 89-111.
- Pinaud D, Claireau F, Leuchtman M, Kerbiriou C (2018). Modelling landscape connectivity for greater horseshoe bat (*Rhinolophus ferrumequinum*) using an empirical quantification of resistance. *J. Appl. Ecol.* **55** : 2600–2611.
- Preux T (2021). De l'agrandissement des exploitations agricoles à la transformation des paysages de bocage : analyse comparative des recompositions foncières et paysagères en Normandie. *Géographie. Normandie Université*. 603pp.
- Puig-Montserrat X, Torre I, López-Baucells A, Guerrieri E, Monti M.M, Ràfols-García R, Ferrer X, Gisbert D, Flaquer C (2015). Pest control service provided by bats in Mediterranean rice paddies : linking agroecosystems structure to ecological functions, *Mammalian Biology*, Volume 80, Issue 3, pages 237-245.
- Robinson R.A, Sutherland W.J (2002). Post-war changes in arable farming and biodiversity in Great Britain. *Journal of Applied Ecology*, **39** : 157–176.
- Rocard J.M, Michaud M (2021). Rôle des oiseaux et des chauves-souris dans la régulation naturelle des tordeuses, bilan de trois années d'expérimentation. *Infos CTIFL n°389*. 17 – 23pp.
- Tapiero A, Arthur C, Aulagnier S, Balland M, Binnert C, Borel C, Cailhol D, Decors A, Dehaut M, Delhay J.F, Dervaux A, Gressette S, Goedert V, Hafa J, Julien J.F, Marmet J, Mème-Lafond B, Nowicki F, Ouvrard E, Perret M, Picard-Meyer E, Puechmille S, Roué S, Tillon L, Vermeersch P. Plan National d'Actions Chiroptères 2016-2025. 81pp.

- Thenail C, Baudry J (2004). Variation of farm spatial land use pattern according to the structure of the hedgerow network landscape : A case study in northeast Brittany. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **101** : 53-72.
- Tuneu-Corral C, Puig-Montserrat X, Flaquer C, Mata V.A, Rebelo H, Cabeza M, López-Baucells A (2024). Bats and rice : Quantifying the role of insectivorous bats as agricultural pest suppressors in rice fields. *Ecosystem Services*, Vol. 66, **101** : 6-35.
- Tuttle M.D, Kiser M, Kiser S (2013). *The bat house builder's Handbook*. Bat Conservation International, editor. 50 pp.
- UICN France, MNHN, SFEPM, ONCFS (2017). *La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine*. Paris, France.
- Watteaux M (2005). Sous le bocage, le parcellaire... *Études rurales*, **175** : 53-80.
- Watteaux M (2012). Le bocage, un paysage rural à la lumière des études archéologiques et archéogéographiques. Dossier.
- Wilson D.E, Mittermeier R.A (2019). *Handbook of the Mammals of the World*. Vol. 9. Lynx Edicions. 1008pp.

Webographie

- Chambre d'agriculture Aude**, infrastructures agro-écologiques. <https://aude.chambre-agriculture.fr/agroenvironnement/agroecologie/infrastructures-agro-ecologiques/> (consulté le 06/01/2025)
- Le Bien Public**, Baulme-la-Roche : une des plus grosses colonies de chauves-souris à découvrir. <https://www.bienpublic.com/edition-haute-cote-d-or/2017/10/19/une-des-plus-grosses-colonies-de-chauves-souris-a-decouvrir> (consulté le 08/01/2025)
- OFB**, Haie et bocages : des réservoirs de biodiversité. <https://www.ofb.gouv.fr/haies-et-bocages-des-reservoirs-de-biodiversite> (consulté le 08/01/2025)
- Parc Naturel Régional Scarpe - Escaut**, inoffensives et utiles, les chauves-souris sont menacées de disparition. <http://www.pnr-scarpe-escaut.fr/contenu-standard/inoffensives-et-utiles-les-chauves-souris-sont-menacees-de-disparition> (consulté le 15/01/2025)
- Plan National d'Actions Chiroptères**, émissions sonores / vocalises. <https://plan-actions-chiropteres.fr/les-chauve-souris/biologie/emissions-sonores> (consulté le 12/01/2025)
- UICN**, La liste rouge des écosystèmes en France. <https://uicn.fr/lre-france/> (consulté le 19/01/2025)
- WILDCARE**, gîte à chauve-souris professionnel. <https://www.wildcare.eu/gite-a-chauve-souris-professionnel-10650.html> (consulté le 20/01/2025)

Fiche suivie

Prénom, Nom : Maxime RAGOT

Titre du mémoire : Chiroptères et bocage : Conserver et valoriser le bocage par le biais des auxiliaires de cultures : synthèse des éléments scientifiques pour la rédaction d'un argumentaire technique.

Sujet proposé par (nom et organisme) : Lucas BLONDEL-AMOUR, animateur Natura 2000 – Parc naturel régional & Géoparc mondial UNESCO Normandie-Maine

Contacté le : 08/10/2024

Référent : Jean-Bernard CLIQUET

Rendez-vous avec le référent :

Date	Objet du rendez-vous
25/11/2025	Présentation du plan et discussion autour des idées principales de chaque partie.
13/01/2025	1 ^{ère} correction
20/01/2025	2 ^{ème} correction

Contacts extérieurs pris pour la préparation du mémoire :

(Date, nom, organisme. Rencontre ? Téléphone ? Échange mail ?)

09/10/2024 Lucas Blondel-Amour, PNR Normandie Maine, rencontre

23/10/2024 Arbres et paysage 32, mail (pas de réponse)

23/10/2024 CPIE Bigorre-Pyrénées, mail (pas de réponse)

26/11/2024 Lucas Blondel-Amour, PNR Normandie Maine, rencontre

07/01/2025 Lucas Blondel-Amour, PNR Normandie Maine, rencontre

17/01/2025 Lucas Blondel-Amour, PNR Normandie Maine, échange mail

Présentation devant la structure (en visio) : le 25/02/2025

Résumés

Le Parc Naturel Régional et Géoparc Normandie Maine œuvre pour la conservation et la valorisation du patrimoine naturel, notamment via l'animation de 12 sites Natura 2000, dont le bocage est un élément important. Afin de préserver ce dernier, et dans un territoire à dominante agricole, le seul spectre naturaliste ne suffit plus, le Parc souhaite donc promouvoir le bocage via le rôle des auxiliaires de culture, dont les chauves-souris font partie. Ce mémoire constitue un état des lieux des études sur ce sujet, et montre comment, à travers leur consommation d'insectes ravageurs, les chauves-souris jouent un rôle essentiel dans les agrosystèmes. En effet, elles permettent de limiter les dégâts sur les cultures en consommant les insectes ravageurs et ainsi d'apporter des bénéfices économiques pour toute la filière agricole. Les chauves-souris étant des espèces intimement liées aux milieux agricoles et bocagers, il est essentiel de préserver des infrastructures agroécologiques de qualité, telle que les haies, les bandes enherbées ou encore les mares afin de favoriser leur présence. Ces infrastructures agroécologiques leur permettent de se repérer dans l'espace, mais également de leur offrir des habitats et des zones de chasses de premier choix. Certaines pratiques tel qu'un labour de conservation sont également favorable à la présence de chiroptères.

Mots clés : chauves-souris, chiroptère, bocage, auxiliaire, ravageurs, culture, infrastructure agroécologique

The Normandie Maine Regional Nature Park and Geopark works to conserve and enhance our natural heritage, in particular by managing 12 Natura 2000 sites, of which bocage is an important part. In order to preserve the bocage, and in a predominantly agricultural area, the naturalist spectrum alone is no longer sufficient, so the Park wishes to promote the bocage via the role of crop auxiliaries, of which bats are a part. This report takes stock of studies on the subject and shows how bats play an essential role in agrosystems by eating insect pests. Bats help to limit crop damage by consuming insect pests, thereby bringing economic benefits to the entire agricultural sector. As bats are species closely linked to agricultural and hedged farmland, it is essential to preserve high-quality agro-ecological infrastructure, such as hedgerows, grassed strips and ponds, to encourage their presence. These agro-ecological infrastructures enable them to find their way around in space, but also offer them prime habitats and hunting grounds. Certain practices, such as conservation tillage, are also favourable to the presence of chiropterans.

Keywords : bats, chiroptera, hedgerows, auxiliaries, pests, crops, agro-ecological infrastructure