HAL
open science

Effets des pratiques agricoles et des infrastructures agro-écologiques sur la diversité des Chiroptères

Céline Henigfeld

To cite this version:

Céline Henigfeld. Effets des pratiques agricoles et des infrastructures agro-écologiques sur la diversité des Chiroptères. Sciences de l'environnement. 2014. hal-02106933

HAL Id: hal-02106933

https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02106933v1

Submitted on 23 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

2013-2014

MASTER FAGE
Biologie et Ecologie pour la Forêt, l'Agronomie et l'Environnement
Spécialité
Fonctionnement et gestion des écosystèmes

Effets des pratiques agricoles et des infrastructures agro-écologiques sur la diversité des Chiroptères

Céline HENIGFELD

Mémoire de stage, soutenu à Nancy le 03/09/2014

Encadrement : Vincent Manneville, Chef de projet à l'Institut de l'élevage
Bernard Amiaud, Professeur à l'Université de Lorraine
Tuteur universitaire : Nadia Michel, Maître de Conférences
Structures d'accueil : Institut de l'élevage (Maison Nationale des Eleveurs, 149 Rue de Bercy, 75595 Paris) et UMR 1137 EEF INRA (Campus des Aiguillettes, 54506 Vandoeuvre-lès-Nancy)

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Bernard Amiaud sans qui ce stage n'aurait pas eu lieu et toute l'équipe de l'UMR 1137 EEF pour leur accueil et leur bonne humeur au bureau.

Merci ensuite à Vincent Manneville pour sa disponibilité en tant qu'encadrant, ses conseils et son dynamisme qui m'ont permis de progresser du point de vue personnel et professionnel.

Merci aussi à Marion Ferrand de l'Institut de l'élevage pour son aide précieux à la réalisation d'analyses multivariées sur le logiciel R et à Aline Chanséaume pour ses précisions essentielles au traitement des données. Je remercie de même Caroline Rolland pour son travail sur le terrain en 2013 qui a généré ces données.

Je souhaite remercier particulièrement Jean-François Julien alias « Batman », de l'équipe CESCO du Muséum National d'Histoire Naturelle, pour m'avoir fait profiter de son expérience lors d'une formation très enrichissante et pour son aide à la détermination des individus dont les sonagrammes étaient parfois difficiles à interpréter.

Mes remerciements s'adressent également à tous les stagiaires, Fatou-Kiné, Nicolas, Jonathan, Clothilde, Emilien et Guillaume, et à Maxime pour ces moments mémorables passés au bureau. Merci à ceux qui ont suivi les 10 commandements…

Je remercie tout spécialement ma famille et mes amis pour m'avoir accompagnée par leur soutien indéfectible tout au long de mes études.

Enfin, merci aux membres du jury qui examineront ce travail.

Sommaire

Introduction **1**
Etat des connaissances sur le lien entre pratiques agricoles, infrastructures agro-écologiques et diversité des chiroptères **2**
A. Généralités sur les chauves-souris 2
1. Morphologie et diversité 2
2. Caractéristiques biologiques et écologiques 3
3. Un rôle clé en milieu agricole 4
B. Effets des pratiques agricoles 4
C. Effets de la structuration du paysage sur la diversité des chiroptères 5
1. Maintien de l'hétérogénéité du paysage 5
2. Repère pour l'orientation spatiale 6
3. Coexistence des espèces et protection 6
Matériel et méthodes **6**
1. Choix des régions et des exploitations pilotes 6
2. Choix des parcelles 7
3. Choix des variables et caractérisation des IAE 7
4. Méthodes d'échantillonnage des chiroptères 7
5. Protocole d'identification des espèces 8
6. Etude de la diversité et de l'activité des chiroptères 9
7. Analyses statistiques 11
Résultats **11**
A. Analyse au niveau régional (Basse-Normandie) 11
1. Influence du type parcellaire sur la diversité 11
2. Indices d'activités pondérés des guildes de chiroptères 12
B. Analyse comparative des trois régions 13
1. Indices de diversité taxonomique 13
2. Richesse spécifique en fonction des cas-types 14
3. Indices de diversité fonctionnelle 15
C. Influence des variables agricoles et paysagères sur la diversité 16
1. Indices de diversité taxonomique 16
a. Effets des pratiques agricoles 16
b. Influence des variables paysagères 17
2. Indices de diversité fonctionnelle 17
a. Effets des pratiques agricoles 17
b. Influence des variables paysagères 18
D. Caractérisation des parcelles et des cas-types d'exploitations 19
1. Degré de différenciation selon les pratiques agricoles 19
2. Degré de différenciation selon les variables paysagères 20
Discussion **20**
Conclusion **23**
Références bibliographiques **24**
Annexes **27**
Résumé **38**

Introduction

Les modifications de l'agriculture depuis la seconde guerre mondiale ont conduit à de profonds changements dans la diversité des paysages. Une part de la perte de la biodiversité agricole est la conséquence du passage de l'après-guerre d'une agriculture traditionnelle à une agriculture plus moderne, avec des pratiques intensives d'utilisation des terres dans des paysages agricoles simplifiés (Burel et Baudry, 1995). La mutation du monde agricole s'est ainsi traduite par une multiplication par quatre des rendements via la mécanisation des exploitations et l'emploi intensif de pesticides, des remembrements conduisant à la réduction de 50% des réseaux de haies et à une diminution du nombre d'exploitations de l'ordre de 65% (Robinson et Sutherland, 2002). La réforme de la PAC, initiée en 1962 par Edgar Pisani suite au Traité de Rome, va également contribuer à de profondes modifications de l'agriculture. Cette politique agricole commune a été accompagnée au niveau national d'actions volontaristes de recherche et de formation visant l'amélioration de la productivité des cultures et des élevages (Flamant, 2010). Une des conséquences notables de cette politique favorisant la forte productivité a été une perte de 5 millions d'hectares de surfaces fourragères en 5 ans au profit des cultures (Huyghe, 2009). Néanmoins la Surface Agricole Utile représente encore 54% du territoire métropolitain, ce qui illustre l'importance de la gestion des paysages agricoles pour la préservation de la biodiversité. Ainsi la biodiversité des espaces agricoles est intégrée dans la « Stratégie Nationale pour la Biodiversité », en cours pour la période 2011-2020, proposée par le Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (en ligne , *http://www.developpement-durable.gouv.fr/-La-Strategie-nationale-pour-la-.html*). Cette stratégie nationale pour la biodiversité comporte un volet qui intègre les pratiques agricoles dans un plan d'action en vue de « favoriser une agriculture durable pour relever le défi de la biodiversité ». Le plan d'action « Agriculture et Biodiversité » a été ainsi mis en place pour renforcer la cohabitation entre ces deux aspects pour répondre à la fois aux enjeux de production agricole rentable et de protection de l'environnement. Dans le contexte actuel, il devient en effet essentiel de concilier l'agriculture et la préservation de la biodiversité, sans négliger pour autant les exigences de production pour nourrir une population mondiale en constante croissance démographique. La FAO (The Food and Agriculture Organization of the United Nations) estime notamment qu'il faudra augmenter de 70 % la production alimentaire d'ici à 2050 pour nourrir les 2,3 milliards de personnes supplémentaires que comptera notre planète. Dans le cadre d'un compromis entre durabilité des systèmes agricoles et biodiversité, il est devenu crucial d'identifier des indicateurs pertinents relatifs aux pratiques agronomiques et aux infrastructures agro-écologiques (IAE) permettant d'évaluer la biodiversité dans les systèmes d'exploitation d'élevage et de polyculture élevage. Cet objectif est celui du programme INDIBIO initié en 2010 par l'Institut de l'élevage, qui étudie en particulier les relations entre la présence d'infrastructures agro-écologiques, l'intensification des pratiques agricoles et les effets sur la biodiversité végétale et animale dans les zones d'élevage et de polyculture-élevage (Annexe 1). Cette problématique s'inscrit dans un objectif d'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles et d'accompagnement des agriculteurs dans une stratégie de progrès et de mise en valeur de la biodiversité. L'étude s'appuie sur six taxons de mobilité différente : la flore, les vers de terre, les orthoptères, les bourdons, les chauves-souris et les oiseaux.

La présente étude s'intéresse aux chiroptères et a été effectué au sein de l'Unité mixte de recherche (UMR) INRA – Université de Lorraine, EEF (écologie et écophysiologie forestières). Elle s'est réalisée en partenariat avec l'Institut de l'élevage et le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris pour la détermination acoustique des espèces de chiroptères.

Une précédente étude sur les chauves-souris, réalisée à partir d'enregistrements à l'aide de détecteurs à ultrasons en août-septembre 2012 (Rolland, 2013), a montré que la diversité des chiroptères en prairies permanentes ne semblait pas influencée par l'intensification des pratiques. L'analyse des enregistrements effectués en juin-juillet 2013, autre période d'intérêt du cycle des chauves-souris, devrait apporter des éléments de réponse supplémentaire quant aux effets des pratiques agricoles et des infrastructures agro-écologiques sur la diversité des chiroptères.

Plusieurs études ont déjà montré que l'intensification agricole et la dégradation du maillage écologique seraient fortement impliquées 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 agro-écologiques dans le paysage peut être un élément déterminant pour leur diversité et leur activité. On peut alors se demander quelles sont les variables associées aux pratiques agricoles et aux infrastructures agro-écologiques (IAE) qui influencent le plus la diversité des chiroptères en prairies permanentes.

Une recherche bibliographique préalable sur les relations entre l'intensification des pratiques agricoles, la présence d'infrastructures agro-écologiques et la diversité des chiroptères a permis de dégager quatre hypothèses quant aux effets attendus :

i. Une intensité de pratiques agricoles forte diminue la probabilité de présence de chauves-souris en milieu agricole
ii. Les chauves-souris seraient davantage présentes sur les parcelles caractérisées par la présence d'IAE
iii. L'organisation territoriale du paysage a une plus forte influence sur la diversité et l'activité des chiroptères que les pratiques d'agriculture intensive
iv. Les effets de l'agriculture sont compensés par la présence d'IAE (effet tampon)

L'objectif principal de la présente étude est de déterminer les variables de pratiques et paysagères qui sont le plus corrélées à la diversité des chiroptères. La diversité des chiroptères est étudiée à partir d'enregistrements bioacoustiques d'un passage réalisé en juin-juillet 2013, l'une des périodes de plus forte activité de chasse pour les chiroptères, qui correspond à la mise-bas et d'élevage des jeunes. Dans le cadre de cette étude, j'étais ainsi chargée de traiter les données de ces enregistrements et d'élaborer plusieurs documents à destination des agriculteurs (article de synthèse et fiches espèces) ou pour de futurs utilisateurs des logiciels d'identification des chiroptères (tutoriel).

Etat des connaissances sur le lien entre pratiques agricoles, infrastructures agro-écologiques et diversité des chiroptères

A. Généralités sur les chauves-souris

1. Morphologie et diversité

Les chiroptères sont les seuls mammifères dotés de la capacité de vol, grâce à leur main modifiée recouverte d'une fine membrane de peau souple, le patagium, englobant des doigts hypertrophiés et un pouce libre. Le vol actif est ainsi une adaptation marquante pour ces mammifères au sein du règne animal, qui leur confère une grande mobilité et une morphologie bien spécifique parmi les mammifères. Les chauves-souris colonisent tous les milieux, que ces milieux soient artificiels ou naturels, et sont classées en guildes selon leur régime alimentaire, leur mode de chasse et leur utilisation des strates (Annexe 2).

Actuellement, on compte plus de 1200 espèces réparties dans 18 familles et 34 espèces sont connues en France (Muséum d'histoire naturelle de Bourges, 2009). Deux sous-ordres sont admis au sein de l'ordre des chiroptères, les mégachiroptères et les microchiroptères (Dobson, 1875). Les mégachiroptères ne comprennent qu'une seule famille (Ptéropodidés). En Europe la plupart des chauves-souris répertoriées sont insectivores et appartiennent uniquement aux Microchiroptères (Arthur et Lemaire, 2005).

Parmi les espèces de France métropolitaine (Annexe 3) on distingue quatre familles définies par la morphologie (Godineau et Pain, 2007):

- Les Rhinolophidés : appendice nasal en forme de fer à cheval (1 genre, 4 espèces)
- Les Vespertilionidés : caractérisés par leur tragus, expansion à la base du pavillon auriculaire (8 genres, 27 espèces)
- Les Minioptéridés : museau court et un front bombé (1 genre, 1 espèce)
- Les Molossidés : queue dépassant de la membrane alaire postérieure (1 genre, 1 espèce)

2. Caractéristiques biologiques et écologiques

Le cycle vital des chauves-souris comprend une succession d'habitats favorables aux différentes phases de leur cycle au cours de l'année (Figure 1) :

- un gîte d'hiver aux conditions climatiques stables pour l'hibernation (température stable, humidité importante, absence de dérangement)
- un gîte d'été aux conditions adaptées pour la mise-bas et l'élevage des jeunes
- des territoires de chasse avec des proies en adéquation avec leur régime alimentaire (essentiellement des Lépidoptères)
- des sites intermédiaires de printemps pour les échanges entre individus et sexes
- des axes de transit entre ces différents habitats (importants car il a été montré que leur modification entraine une mortalité accrue)

Figure 1 *: Cycle vital des chauves-souris d'Europe*
(Source : midi-pyrenees.developpement-durable.gouv.fr)

La majorité des espèces de chauves-souris s'orientent et chassent à l'aide de l'écholocation, un système comparable au sonar qui leur permet de repérer des objets dans l'obscurité. Ainsi, la chauve-souris émet des ultrasons par la bouche ou le nez, produits par des contractions du larynx, qui lui sont retournés dès qu'un obstacle ou une proie est rencontré. Celle-ci capte l'écho grâce à ses oreilles, analysé ensuite par une partie du cortex pour calculer la distance, la vitesse, la position et la forme de l'objet détecté. Les Mégachiroptères, comme les Roussettes utilisent un système d'écholocation beaucoup moins perfectionné que les Microchiroptères, produit par des alternances de claquements de langue audibles pour l'homme (Arthur et Lemaire, 2005). Les chauves-souris peuvent émettre des cris audibles pour l'homme, qualifiés de « cris sociaux », qui leur permettent de communiquer entre elles au sein des colonies. Ce type de communication se fait au sein des essaims notamment pour la reconnaissance du jeune par la mère ou le signalement d'un mâle adulte.

La léthargie, caractéristique des espèces insectivores en régions tempérées, est une adaptation très avantageuse qui permet de ne chasser que les nuits les plus favorables et de gérer d'éventuelles pénuries temporaires de proies.

L'hibernation est une léthargie profonde, ponctuée par des réveils naturels, nécessaire en région tempérée du fait de la raréfaction de leurs proies pendant la saison hivernale. L'entrée en léthargie est progressive qui répond à différents stimuli : l'horloge interne, la température extérieure et la raréfaction des proies. La température interne chute pour se rapprocher de celle du gîte comprise entre 0°C et 10°C (Arthur et Lemaire, 2005). Les chauves-souris constituent leurs réserves énergétiques au niveau de la graisse brune, localisées à la base arrière de la tête. Les gîtes d'hibernation doivent être stables en température, protéger contre le gel et offrir une bonne hygrométrie pour éviter la déshydratation. Lors de la phase d'hibernation, une chauve-souris perd en moyenne 0,2 % de son poids par jour. Le réveil demande beaucoup d'énergie et peut durer jusqu'à une heure selon la température d'hibernation (Arthur et Lemaire, 2009).

Les accouplements se font en automne et la femelle entame son hibernation en pratiquant l'ovulation différée pour économiser ses ressources (stockage des spermatozoïdes jusqu'au printemps). Les jeunes naissent entre juin et juillet, une des périodes les plus riches en proies.

3. Un rôle clé en milieu agricole

Les chauves-souris se révèlent être des indicateurs pertinents de biodiversité en milieu agricole, de par leur diversité taxonomique et fonctionnelle, leur sensibilité à une vaste gamme de facteurs de stress environnementaux, leur grande mobilité sur plusieurs kilomètres. Ces caractéristiques font des chiroptères de bons témoins de la qualité de l'habitat et de la stabilité de l'écosystème par leur distribution et leur diversité (Jones, 2009). Sur les 1 232 espèces de chauves-souris, répertoriées dans le monde, environ 2/3 sont des insectivores strictes ou facultatives. Leur position en bout de chaine alimentaire en fait d'excellents indicateurs de la présence d'insectes ou de petits invertébrés. La consommation est accrue car la plupart des chauves-souris ne consomment que l'abdomen riche en nutriments, multiplient la quantité d'insectes consommés jusqu'à avaler l'équivalent de 70% de leur masse corporelle en une nuit (Kunz *et al.*, 2011). Les chauves-souris ont de surcroit une importance économique pour l'agriculteur, du fait qu'elles consomment 4 à 8 grammes d'insectes par nuit pendant la saison active selon les estimations sur le Vespertilion brun qui mesure 6 à 10 cm (Boyles *et al*., 2011). De plus, il a été montré que dans un environnement agricole la présence de chauves-souris altère le comportement et la dynamique de la population des pyrales : le taux d'infestation du maïs est réduit de 50% dans un champ soumis à des émissions ultrasonores à des fréquences, amplitudes et périodes de cris de chauves-souris (Kunz *et al.*, 2011). Les chauves-souris ont également un rôle dans la fertilisation des écosystèmes par dépôt de leur guano, riche en azote et phosphore, les premiers nutriments limitants pour la croissance des plantes. Les principaux facteurs entrainant la disparition des chauves-souris sont l'appauvrissement de leurs proies, la contamination de l'entomofaune par les pesticides, la destruction des milieux de chasse, la dénaturation des paysages, et la destruction des gîtes (CPEPESC, 2009).

B. Effets des pratiques agricoles

Les chauves-souris entretiennent un lien particulier avec le milieu agricole du fait de la présence de terrains de chasse et de gîtes appréciés des chiroptères. Il a été montré que l'appauvrissement des proies, la diminution des surfaces en prairies, l'application de

pesticides et l'usage de produits anti-parasitaires auraient un impact notable sur les populations de chauves-souris (Lamotte, 2006).

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). Les chauves-souris insectivores sont particulièrement sensibles aux substances chimiques par rapport à d'autres ordres, leurs caractéristiques biologiques (demandes énergétiques élevées) augmenteraient en effet leur probabilité d'exposition aux substances chimiques, avec une possibilité de transmission aux nouveau-nés par transfert prénatal (Carravieri et Scheifler, 2012). Les chauves-souris sont particulièrement vulnérables aux pesticides organochlorés lors de la mobilisation des résidus accumulés pendant l'hibernation, des niveaux très élevés de ces pesticides ont ainsi été trouvés chez de nombreuses espèces (Bunyan et Stanley, 1983). Les pesticides organochlorés, actuellement retirés du marché, sont encore détectés dans les tissus de chauves-souris (Bayat, 2014). Une analyse des résidus de pesticides montre que les pesticides s'accumulent fortement dans les arthropodes présents constamment sur les feuilles et que le Fénocarb serait particulièrement impliqué dans la réduction des périodes de lactation et de gestation (Stahlschmidt et Brühl, 2012). Les avermectines, antiparasitaires administrés aux animaux d'élevage, persistent en fortes doses dans les déjections animales et seraient responsables de la contamination d'insectes coprophages ou les larves de diptères dont se nourrissent exclusivement certaines espèces de chauves-souris (Ansay, 2006 ; Burel *et al.,* 2008).

C. Effets de la structuration du paysage sur la diversité des chiroptères

Les « infrastructures agro-écologiques » (IAE), aussi appelés « particularités topographiques » dans le cadre des bonnes conditions agricoles et environnementales (BCAE), correspondent à des habitats semi-naturels qui ne reçoivent ni fertilisants chimiques, ni pesticides et qui sont gérés de manière extensive (Dubois, 2012). Il s'agit des haies, bosquets, lisières, bandes enherbées, prairies naturelles, mares, vergers de haute tige et tous les milieux peu ou pas anthropisés (surfaces cultivées en jachères, murets de pierre, chemin…) qui occupent actuellement 20% de la surface agricole utile (SAU) nationale.

1. Maintien de l'hétérogénéité du paysage

La politique agricole commune (PAC) a encouragé la tendance à modifier les paysages vers une diminution de l'hétérogénéité des ces paysages. Or, les infrastructures agro-écologiques sont connues pour héberger de nombreuses espèces auxiliaires impliqués dans la lutte contre les ravageurs des cultures (Debras, 2007) et pour leur utilisation potentielle en tant que gîtes arboricoles (haies, vergers de haute tige). Les haies seraient également des sources de nourriture indispensables aux chauves-souris avec une disponibilité en insectes stable contrairement aux autres habitats (Verboom et Huitema, 1997). L'abondance en espèces d'invertébrés et leur présence est corrélée positivement au recouvrement de la végétation et à la complexité de la structure des haies (Davies et Pullin, 2007).

A l'échelle du paysage, deux niveaux de modification du mode de gestion agricole peuvent être considérés : le changement de type de production (prairie, culture) et le changement de technique de production (fauche, pâturage, ensilage) (Burel et Baudry, 1995). L'abandon de pratiques sylvo-pastorales sur un verger peut ainsi conduire à un déclin de leur richesse spécifique par réduction de la mosaïque d'habitats (Obrist *et al.*, 2011). L'abondance des insectes, dont dépendent les chauves-souris, est liée au mode de culture : une prairie, un champ de luzerne et une céréale à paille sont plus favorables à l'entomofaune qu'un champ de

maïs (Biadi, 1998). Les prairies de fauche seraient des interfaces suffisamment attractives pour les espèces forestières, de lisière ou riveraines, de manière à compenser les réflexes de protection contre les prédateurs en milieux ouverts (Barataud, 2012 (1)). En pâturage, les plantes sont plus vulnérables à l'herbivorie par les insectes, dont l'abondance est susceptible d'accroitre les chauves-souris (Burel *et al.,* 2008).

2. Repère pour l'orientation spatiale

Les éléments verticaux du paysage, notamment les haies, augmentent les sources d'insectes et constituent des routes de vol et des terrains de chasse importants pour les chauves-souris (Wolcott et Vulinec, 2012). Les chauves-souris volent parallèlement à ces structures lors de la chasse pour distinguer les échos transmis par les proies des échos du paysage (Kalko et Schnitzler, 1993). Leur présence pour l'orientation spatiale est d'autant plus importante que les chauves-souris trouvent l'entrée de leur gîte à 99-100% lorsqu'un repère est placé à proximité (Jensen *et al.*, 2005). Cette capacité à s'orienter dépend de la gamme de fréquences de la chauve-souris (Verboom et Huitema, 1997). Les zones humides sont extrêmement productives en insectes et utilisés couramment pour la chasse par les chauves-souris (Sirami, 2013).

3. Coexistence des espèces et protection

L'existence d'IAE au sein des paysages agricoles peut favoriser la partition des niches des espèces de chiroptères et ainsi augmenter la probabilité de cohabitation de plusieurs espèces et par conséquent la diversité des chiroptères (Lisón et Calvo, 2013). Au sein des chiroptères, la partition de niches est permise par les différences de morphologie des ailes, de structure du cri d'écholocation et de leurs capacités sensorielles (Kalko et Schnitzler, 1993). Les haies sont également des éléments essentiels aux chauves-souris pour la protection contre les vents forts et contre les prédateurs. Ainsi, une étude a montré que lorsque la vitesse du vent est élevée et l'angle d'incidence de plus de 45°, la proportion des pipistrelles qui se déplacent du côté d'une double rangée d'arbres sous le vent augmente (Verboom et Spoelstra, 1999).

Matériel et méthodes

1. Choix des régions et des exploitations pilotes

L'étude a été réalisée sur trois régions contrastées par leurs conditions pédoclimatiques, leur position géographique, des systèmes d'élevage et des paysages : la Lorraine/Champagne-Ardenne (climat semi-continental), la Basse-Normandie (département de la Manche, climat océanique) et l'Auvergne (climat montagnard). Dans chacune des régions, les exploitations ont été choisies selon deux axes : l'intensité des pratiques agricoles appliquées et l'importance des infrastructures agro-écologiques (IAE) sur leur territoire.

Ainsi, quatre cas-types d'élevages correspondants à des extrêmes de pratiques agricoles et de présence/absence d'IAE structurant le paysage (Figure 2). Chacune des quatre situations a été répétée 3 fois par région.

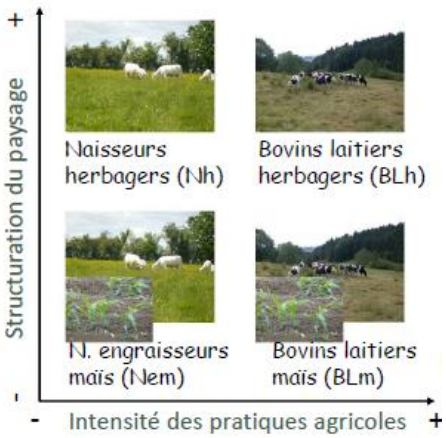


***Figure 2** : Systèmes d'élevage retenus pour le choix des exploitations (Nh : Naisseur herbager ; BLh : Bovins lait herbagers ; Nem : Naisseurs engraisseurs ; BLm : Bovins laitiers maïs)*

Le choix s'est ainsi porté sur 35 exploitations pilotes pour le programme INDIBIO : 11 exploitations ont été sélectionnées dans la Manche tandis que 12 exploitations ont été inventoriées en Lorraine/Champagne-Ardenne et en Auvergne.

2. Choix des parcelles

Les parcelles ont été sélectionnées selon les mêmes gradients d'intensité et de structuration du paysage avec au total 5 parcelles retenues et 3 parcelles utilisées pour les relevés de chiroptères (Figure 3) :

- deux parcelles **avec** présence d'IAE avec infrastructure agro-écologique (IAE) :
  - une parcelle à **faible** intensité d'utilisation dite extensive : PP1
  - et une parcelle à **forte** intensité d'utilisation dite intensive : PP2
- une parcelle **sans** infrastructure agro-écologique (IAE) à **forte** intensité d'utilisation dite intensive : PP4

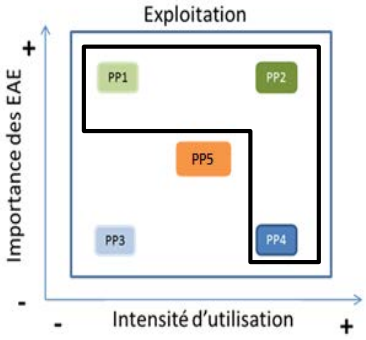


Figure 3 *: Parcelles retenues pour les relevés de chiroptères*

Les parcelles en bordure de lisière de forêt ont été exclues car elles ne sont pas considérées comme des IAE dépendantes et gérées par l'agriculteur. Les parcelles étaient choisies au sein d'un même territoire et éloignées des bâtiments pour éviter les biais liés à l'altitude, à la présence d'une autre structure et à des variations paysagères trop importantes (Annexe 4).

3. Choix des variables et caractérisation des IAE

Les variables ont été choisies suite à une enquête auprès des agriculteurs qui a permis de distinguer 12 variables de pratiques agricoles. Ces variables sont décrites dans l'Annexe 5 et correspondent par exemple aux intensités de pâturage, de fauche, de fertilisation.

Les variables paysagères ont été déterminées suite à la numérisation sous Quantum GIS des infrastructures agro-écologiques au sein des exploitations étudiées. Il a été dénombré ainsi 17 variables paysagères (Annexe 6). Ces variables décrivent notamment la proportion, la surface et la diversité des infrastructures agro-écologiques autour des parcelles techniques. Les IAE choisies dans le cadre de l'étude étaient de préférence des haies constituées d'arbres.

4. Méthodes d'échantillonnage des chiroptères

Un premier passage a été réalisé sur les parcelles choisies entre août et septembre 2012 lors de la période d'élevage des jeunes et de début des accouplements (Rolland, 2013). Cette étude a pour objectif d'analyser les enregistrements effectués lors du deuxième passage entre juin et juillet 2013, correspondant à une période de mise-bas, de lactation et d'élevage des jeunes pour les chauves-souris. Les nuits d'enregistrement s'étendaient en moyenne de 22h à 5h30 du matin, pour une durée d'enregistrement moyenne de 7h50, et ont été réalisées lors de la période allant du 14 juin au 25 juillet 2013, ce qui correspond à une période d'activité de chasse optimale pour combler les besoins des jeunes. L'ensemble des mesures a été effectué pour une exploitation durant une même nuit pour réduire les variations dues aux conditions météorologiques et aux différences entre exploitations dans un intervalle de temps plus long. Les trois parcelles d'une même exploitation ont été échantillonnées au cours de la même nuit.

Les enregistreurs utilisés sont des enregistreurs numériques de type SM2bat et les enregistrements sont réalisés en format audio WAV. Le protocole d'enregistrement des passages de chiroptères a consisté à placer des détecteurs à ultrasons SM2bat à des endroits stratégiques sur les exploitations. Ces détecteurs fonctionnent par enregistrement direct à déclenchement automatique, qui ne nécessitent pas de traiter les sons par division de fréquence, contrairement aux détecteurs de type Anabats, ce qui présente l'avantage d'éviter toute perte de qualité du signal et donc de limiter les erreurs d'identification d'espèces aux signaux ultrasonores proches. Chaque contact de chauve-souris est référencé par la date et l'heure d'enregistrement. Un contact correspond à l'occurrence acoustique d'une espèce par tranche de cinq secondes multipliée par le nombre d'individus (de cette même espèce) audibles en simultané. Ces enregistrements passifs permettent de quantifier le nombre de contacts et donc l'activité moyenne des chauves-souris sur un lieu de passage donné. Les boitiers des SM2bat sont équipés de deux microphones placés en bordure de parcelle en hauteur avec des câbles de 25 mètres de longueur (Figure 4).

Figure 4 *: Exemples de localisation de boitiers SM2bat pour l'échantillonnage des chiroptères (Photo de terrain 2013, © Caroline Rolland)*

Pour évaluer les conditions de mesure lors des enregistrements, différentes variables ont été mesurées sur le terrain : la température, la vitesse du vent selon l'échelle de Beaufort, la couverture nuageuse, la date des dernières précipitations et l'état de la prairie. L'altitude a été déterminée également en utilisant les coordonnées géographiques des parcelles. Les conditions favorables pour la réalisation des mesures étaient l'absence de pluie continue (averses intermittentes tolérées), une vitesse de vent inférieure à 5 m/s (au maximum 8 m/s), et dans la mesure du possible une température moyenne supérieure à 12°C.

5. Protocole d'identification des espèces

Le traitement des enregistrements a été réalisé grâce au logiciel Sonochiro ® (Biotope, Version 3.3.1.), un logiciel de traitement automatique des enregistrements ultrasonores de chiroptères qui analyse les enregistrements en direct ou en temps expansé. Une fonctionnalité de ce logiciel consiste à identifier les espèces à partir d'un grand volume de données, comme celles générées lors d'une nuit complète d'enregistrements.

L'utilisation de SonoChiro® (Figure 5) nécessite des enregistrements sonores au format WAVE mono et dont les fichiers sont de durées inférieures à 20 secondes (200 secondes en temps expansé x10). Les fichiers d'enregistrement bruts ont été divisés en fichiers de durée inférieure à 5 secondes, qui correspond à la durée optimale d'un passage de chiroptère, grâce à un logiciel gratuit d'édition de sons en masse (Kaleidoscope, Wildlife Acoustics Version 1.1.22). La sortie du logiciel Sonochiro ® est un tableur Excel présentant les fichiers associés à l'espèce identifiée, les indices de confiance relatifs à l'espèce (ISp), au groupe d'espèce (IGp), à la qualité de la séquence (IQual), à la présence de cris sociaux (Ics), à la présence de cris de capture de proies (Ibuz). L'identification est associée à des indices de confiance qui reflètent le risque d'erreur possible et donnent ainsi une indication des vérifications à effectuer.

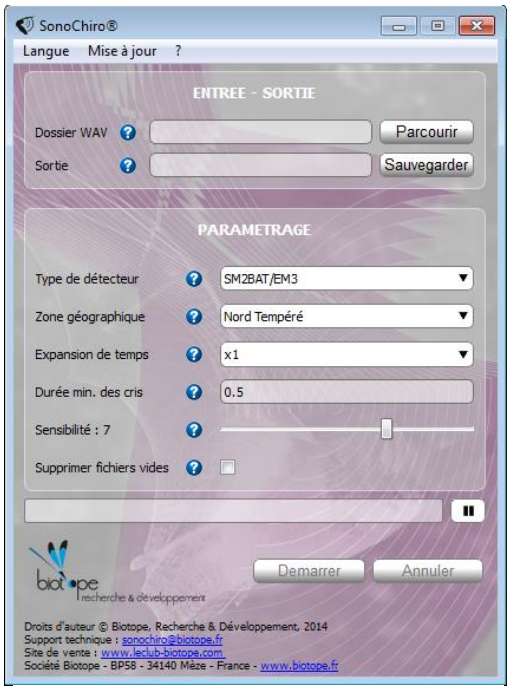


Figure 5 *: Interface du logiciel Sonochiro*

Les résultats obtenus par Sonochiro ® sont validés grâce à un logiciel de visualisation des fréquences sous forme de sonogrammes (Adobe Audition, Version 3.0). Cette représentation de la fréquence (en Hz) en fonction du temps (en ms) permet de reconnaître une espèce donnée à l'aide de la forme du signal (fréquence constante, modulée abrupte ou modulée aplanie), de la durée d'un cri, de l'intervalle entre deux cris et des fréquences caractéristiques (initiale, terminale, fréquence du maximum d'intensité). Sonochiro ® identifie également des cris qualifiés de « parasites » qui peuvent correspondre à des cris non identifiés par le logiciel. Cette étape de validation des données est ainsi essentielle car le taux d'erreur nul est inatteignable dans l'état actuel des connaissances et le logiciel ne peut se substituer entièrement à une identification manuelle. La notice de Sonochiro ® présente une clé de validation dichotomique permettant de choisir l'échantillon minimal de fichiers à vérifier (Annexe 7).

6. Etude de la diversité et de l'activité des chiroptères

Une représentation préalable d'un indice de fréquentation des chiroptères est réalisée afin de comparer la proportion de chauves-souris visitant les parcelles étudiées entre le passage 2 (août-septembre 2012) et le passage 1 (juin-juillet 2013). Cet indice correspond à un pourcentage calculé à partir du rapport du nombre d'espèces contactées au moins une fois sur la parcelle divisé par le nombre total d'espèces potentiellement présentes.

La diversité taxonomique des chauves-souris au niveau de chaque type parcellaire a d'abord été déterminée par l'évaluation de la **richesse spécifique globale S** (nombre d'espèces recensées pour chaque parcelle type ou cas-type) et des abondances relatives des espèces (nombre de contacts enregistrés d'une espèce divisé par le nombre total de contacts par type parcellaire).

Trois types d'indices de diversité ont ensuite été calculés par exploitation :

- L'**indice de Shannon-Weaver** : H' = - ∑ ps log2 (ps) où ps est l'abondance relative de chaque espèce dans le relevé et S la richesse spécifique du relevé. H' est minimal lorsqu'une espèce est représentée par un seul individu, ou lorsque tous les individus du peuplement appartiennent à une seule espèce.
- La **diversité maximale** : Hmax = log2(S). Sa valeur décrit une équirépartition des espèces au sein du peuplement
- L'**indice d'équitabilité de Piélou** : J = H'/ Hmax .Cet indice est compris entre 0 et 1. Il est proche de 0 lorsqu'une espèce domine le peuplement

La diversité fonctionnelle est déterminée pour trois traits correspondant à l'utilisation de l'habitat, le niveau de spécialisation alimentaire et le mode de chasse (Annexe 2). Cette diversité est mesurée par le calcul des indices de diversité fonctionnelle grâce à la fonction dbFD() du package « FD » du logiciel R (Laliberté et Legendre, 2010 ; Laliberté et Shipley, 2011) :

- La **richesse fonctionnelle** (*functional richness* FR) : part de la niche occupée. Un indice FR faible indique que certaines des ressources potentiellement disponibles pour la communauté ne sont pas utilisées. Pour l'attribut c d'un trait donné dans une communauté i la richesse fonctionnelle s'exprime sous la forme : $FR_{ci} = SF_{ci} / R_c$ où SF_{ci} est l'espace de niche occupé par la communauté i et R_c la gamme absolue de l'attribut c
- La **régularité fonctionnelle** (*functional evenness* FEve) : degré d'uniformité de la distribution des communautés dans l'espace de niche occupé. Un FEve faible indique que certaines parts de l'espace de niche, même occupées, sont sous-utilisées.
- La **divergence fonctionnelle** (*functional divergence* FDiv) : degré auquel la distribution de la fréquence de l'attribut dans l'espace de niche maximise la variation des attributs de la communauté entière. Cet indice décrit le degré de différenciation des niches et peut être calculé pour des attributs quantitatifs de traits.
- La **dispersion fonctionnelle** (*functional dispersion* FDis) : distance moyenne d'une espèce par rapport au centroïde de toutes les espèces dans l'espace fonctionnel, déterminé à partir des abondances de chaque espèce.
- L'**entropie quadratique ou indice de** Rao : indice « multi-traits » donnant la dissimilarité fonctionnelle moyenne. L'indice de Rao décrit la probabilité que deux individus pris au hasard soient différents du point de vue de leurs traits fonctionnels.

L'activité des chiroptères est enfin déterminée pour chaque guilde afin de comparer la fréquentation de chaque guilde en fonction du type de parcelle. Un indice d'activité brut est calculé d'après le nombre moyen de contacts par heure et par nuit, pour chaque parcelle. Etant donné que la probabilité de détection varie d'une espèce à l'autre selon la portée de ces émissions ultrasonores, cet indice est pondéré par un coefficient de détectabilité, proportionnel à la distance de détection de l'espèce en milieux ouverts et semi-ouverts (Annexe 8). L'indice d'activité pondéré est ainsi : $a_pi = a_bi*di$ où a_bi est l'indice d'activité brut (nombre de contacts par heure) et di le coefficient de détectabilité de l'espèce.

7. Analyses statistiques

Les tests statistiques ont été réalisés via le logiciel R (R Core Team, Version 3.0.3). Le package Rcommander (Rcmdr, version 2.0-4) a été utilisé pour les tests de comparaisons de moyenne et le test de normalité de Shapiro-Wilk. Afin de déterminer l'influence du type parcellaire et du cas-type d'exploitation, des tests ANOVA ou de Kruskal-Wallis (données non paramétriques) ont été effectués pour évaluer la significativité des différences entre parcelles et régions. Des tests post-hoc HSD de Tukey sont utilisés pour déterminer les différences significatives entre les moyennes de groupes dans les analyses de variance. Le package « pgirmess » (Giraudoux, 2014) a été utilisé pour les tests post-hoc suite à un Kruskal-Wallis significatif.

Pour identifier les pratiques agricoles et les composantes paysagères qui ont un impact sur la diversité taxonomique, une AFDM (Analyse Factorielle des Données Mixtes) a été employée avec la fonction FAMD () du package « FactoMineR » (Husson *et al.*, 2014). Ce type d'analyse permet de considérer à la fois des variables quantitatives et qualitatives (d'où le terme de données mixtes) sans les modifier, ce qui a un intérêt lorsque le nombre de variables qualitatives est très petit comparé à celui des variables quantitatives et lorsque le nombre d'individus est faible. Les indices de diversité étant liés par le calcul, cette analyse a été effectuée pour chacun des indices séparement.

Résultats

A. Analyse au niveau régional (Basse-Normandie)

1. Influence du type parcellaire sur la diversité

La figure 6 décrit la variabilité saisonnière de l'indice de fréquentation des chiroptères sur les trois types de parcelles étudiées. L'indice de fréquentation global des chauves-souris n'est pas significativement différent (t = 4,6356 ; df = 1 ; P = 0,1353) entre le passage 1 (juin-juillet 2013) et le passage 2 (août-septembre 2012), sur les trois types parcellaires prospectés. Cependant, une augmentation moyenne de 13,73% de la fréquentation est constatée entre le passage 1 et le passage 2. La fréquentation apparaît alors plus accrue lors de la période d'envol des jeunes et de début des accouplements (passage 2) par rapport à la période de mise-bas, de lactation et d'élevage des jeunes (passage 1).

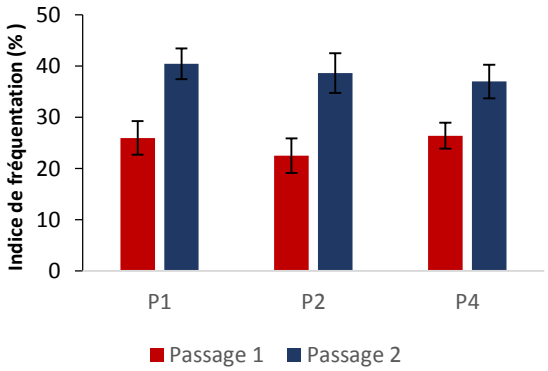
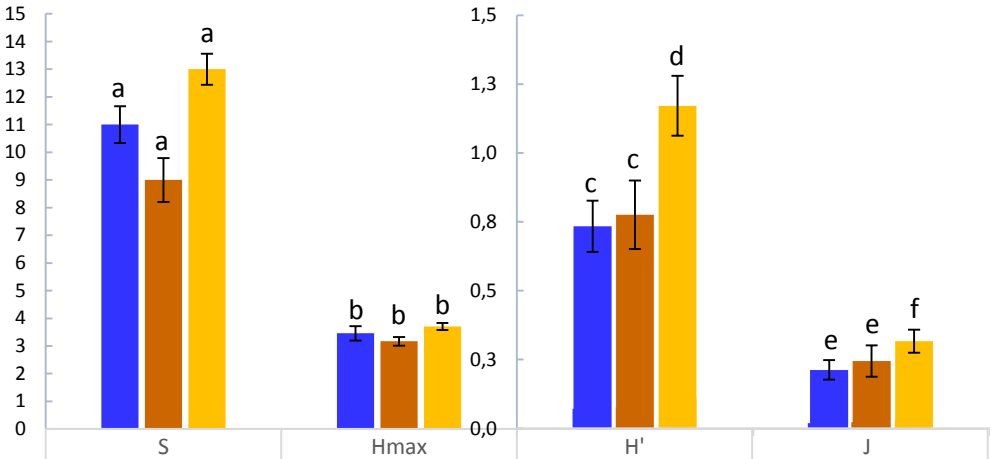


Figure 6 : *Indice de fréquentation global moyen +/- SEM (Standard Ecart of Mean) calculé à partir du nombre d'espèces contactées par station, pour le passage 1 (juin-juillet 2013) et le passage 2 (août-septembre 2012)*

L'analyse des enregistrements du passage 1 a permis de recenser 17 espèces de chiroptères au total sur l'ensemble des exploitations considérées (Annexe 9). La pipistrelle commune était présente sur plus de 60% des contacts, les autres espèces ayant des abondances relatives distinctes entre les trois types de parcelles. Au cours d'une nuit d'enregistrement, 10 espèces sont contactées en moyenne. Parmi les espèces contactées, 6 espèces sont citées dans l'Annexe II de la Directive Habitats-Faune-Flore : la Barbastelle d'Europe, le Murin de Bechstein, le Murin à oreilles échancrées, le Grand Murin et enfin le Petit et le Grand Rhinolophe. Certaines espèces sont rares à très rares en Basse-Normandie comme le Petit Rhinolophe, la Noctule commune, la Pipistrelle pygmée et la Barbastelle d'Europe.

Trois espèces sont classées en « quasi-menacé » (NT) sur la liste rouge nationale : le Petit Rhinolophe, le Murin de Bechstein, la Noctule commune et la Pipistrelle de Nathusius. La figure 7 montre les valeurs moyennes de la richesse spécifique globale et des trois indices de diversité taxonomique déterminés pour les parcelles P1, P2, et P4. La richesse spécifique globale S ne différait pas de manière significative entre les trois types de parcelles considérées (F=0,232 ; df = 2 ; P = 0,794), tout comme la diversité maximale (χ^2 = 0,2286 ; df = 2 ; P = 0,892). Cependant, les différences entre les types parcellaires se révèlent significatives pour l'indice de diversité de Shannon-Weaver H' (F = 4,84 ; df =2 ; P= 0,0151) et l'indice d'équitabilité de Piélou J (F = 4,987 ; df = 2 ; P = 0,0135).



	S	Hmax	H'	J
P1	11	3,46	0,73	0,21
P2	9	3,17	0,78	0,24
P4	13	3,70	1,17	0,32

Figure 7 *: Histogrammes des indices de diversité (+/- SEM), calculés pour le passage 1 (juin-juillet 2013) : Richesse spécifique (S), Indices de diversité de Shannon-Weaver (H') et de diversité maximale (Hmax), Indices d'équitabilité de Piélou (J).*
Les colonnes de l'histogramme qui ne sont pas reliées par une lettre commune sont significativement différentes selon les tests post-hoc de Tukey-HSD ou de Wilcoxon au seuil α = 0,05

2. Indices d'activités pondérés des guildes de chiroptères

L'indice d'activité moyen est fortement influencé par le nombre conséquent de contacts de pipistrelles communes par nuit d'enregistrements. En effet, le nombre important de contacts (parfois plus de 1000 contacts par nuit d'enregistrement) influe énormément sur le calcul de l'indice d'activité global des guildes d'espèces ayant une préférence pour les habitats de type lisière, un régime ubiquiste et un mode de chasse en poursuite.

Ainsi, la forte différence entre les indices d'activité des trois guildes définies par Barataud est issue en grande partie de l'abondance de la pipistrelle commune dans les inventaires (Figure 8). Un test t de Welch pour échantillons indépendants a été réalisé pour comparer entre elles les guildes dont la variance au sein des échantillons était inégale : aucune différence significative n'a été constatée entre les indices d'activité des guildes selon leur habitat de prédilection, leur régime alimentaire et leur mode de chasse (P >0,05).

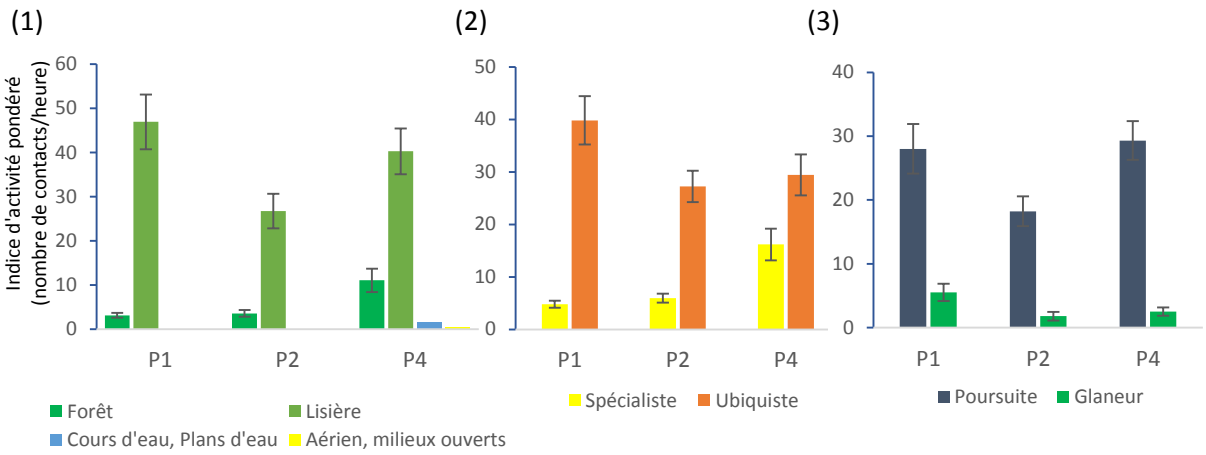


Figure 8 *: Histogrammes des valeurs de l'indice d'activité pondéré moyen +/- SEM rapportée au nombre de contacts (nombre de contacts/heure/nuit) selon (1) les guildes d'habitats, (2) le régime alimentaire (Spécialiste/Ubiquiste) et (3) le mode de chasse (Poursuite/Glaneur)*

B. Analyse comparative des trois régions

1. Indices de diversité taxonomique

La richesse spécifique globale ne diffère pas de manière significative entre les régions pour P1 (F = 1,502 ; df = 2 ; P = 0,238), pour P2 (F = 0,908 ; df = 2 ; P = 0,414) et pour P4 (F =1,093 ; df =2 ; P=0,349). Cependant, la richesse spécifique semble plus élevée en Auvergne et Lorraine/Champagne-Ardenne qu'en Basse-Normandie (Figure 9A). Les indices de Shannon-Weaver H' et de diversité maximale Hmax ne sont pas significativement différents d'une région à l'autre pour P1, P2 et P4 (Figure 9B).

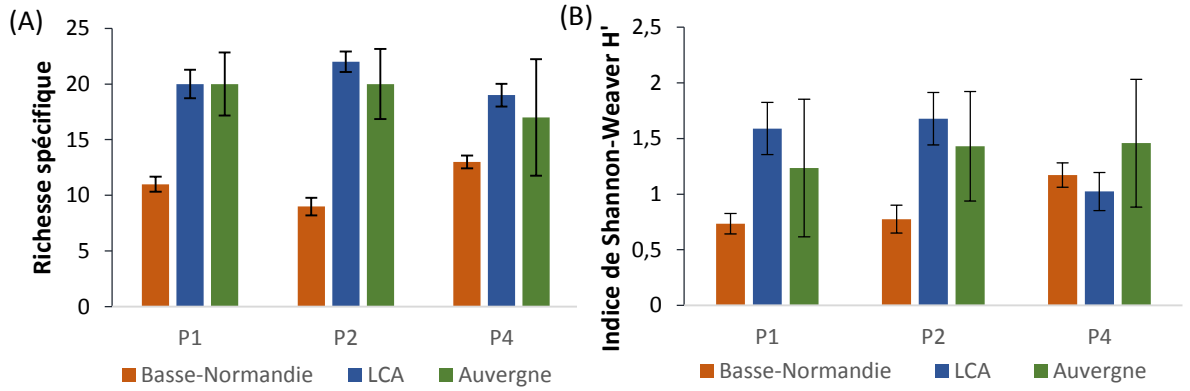


Figure 9 *: Histogrammes montrant (A) la richesse spécifique de la Basse-Normandie, de la Lorraine/Champagne-Ardenne (LCA) et de l'Auvergne en fonction des trois types parcellaires P1,P2 et P4 ; (B) les indices de diversité de Shannon-Weaver (H') de la Basse-Normandie, de la Lorraine/Champagne-Ardenne (LCA) et de l'Auvergne en fonction des trois types parcellaires P1,P2 et P4. Moyennes +/- SEM*

L'indice d'équitabilité varie de manière significative entre les trois régions (F=6,336 ; df=2 ; P= 0,00537), en particulier entre la Basse-Normandie et la Lorraine/Champagne-Ardenne pour P1 (P =0,04176) et entre l'Auvergne et la Lorraine/Champagne-Ardenne pour P2 (P =0,0322). Néanmoins la différence est non-significative pour les valeurs de J sur P4 (F=2,524 ; df=2 ; P= 0,1) (Figure 10).

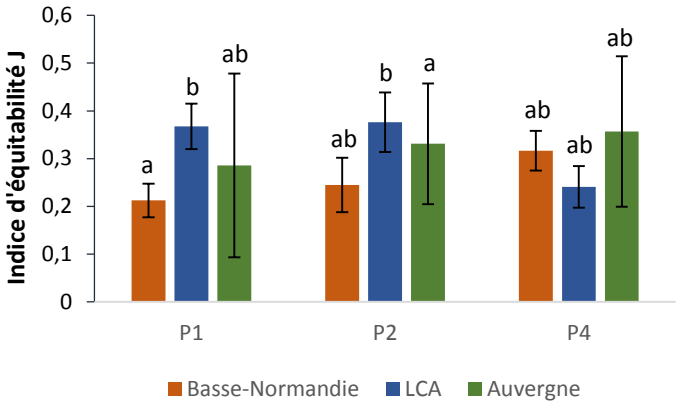


Figure 10 *: Histogrammes des indices d'équitabilité de Piélou (J) de la Basse-Normandie, de la Lorraine/Champagne-Ardenne (LCA) et de l'Auvergne en fonction des trois types parcellaires P1,P2 et P4. Moyennes +/- SEM. Les colonnes de l'histogramme qui ne sont pas reliées par une lettre commune sont significativement différentes selon les tests post-hoc de Tukey-HSD ou de Wilcoxon au seuil α = 0,05*

2. Richesse spécifique en fonction des cas-types

La comparaison des valeurs de richesse spécifique moyenne entre les quatre cas-types définissant le système de production de chaque exploitation montre que les systèmes de type « herbager » (Bovins laitiers herbagers, Naisseurs herbagers) semblent favoriser la présence d'un plus grand nombre d'espèces de chiroptères (Figure 11).

La richesse spécifique observée pour les quatre cas-types ne diffère pas de manière significative entre les trois régions (F=2,48 ; df=2 ; P=0,138).

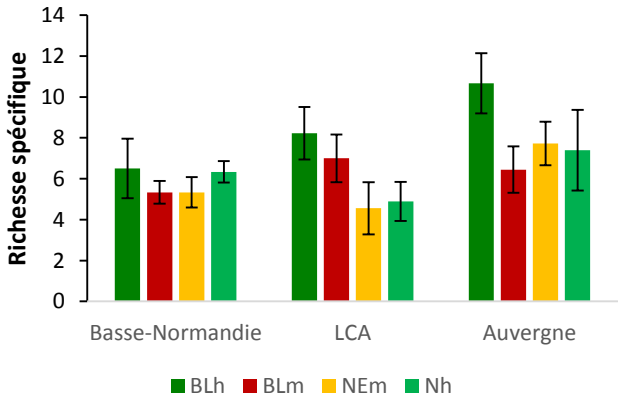


Figure 11 *: Histogramme de la richesse spécifique en fonction de la région et du cas-type d'exploitation, Moyennes +/- SEM. Les colonnes de l'histogramme ne sont pas significativement différentes selon le test de Tukey-HSD au seuil α = 0,05*
(Blh : Bovins laitiers herbagers, Blm : Bovins laitiers maïs, Nem : Naisseurs engraisseurs maïs, Nh : Naisseurs herbagers)

3. Indices de diversité fonctionnelle

Les indices de diversité fonctionnelle ne sont pas significativement différents entre les trois types de parcelle pour les trois régions (Figure 12). La richesse fonctionnelle diffère significativement entre les trois régions pour la parcelle P2 (χ^2 = 8,5259 ; df = 2, P = 0,01408). La différence est très significative entre l'Auvergne et la Basse-Normandie d'après le test de comparaisons multiples. Sur les autres parcelles cette différence est non-significative. La richesse fonctionnelle observée est faible comparée à la richesse spécifique globale sur les trois types de parcelles. Une richesse fonctionnelle faible signifie que certaines ressources potentiellement disponibles pour la communauté sont inutilisées.

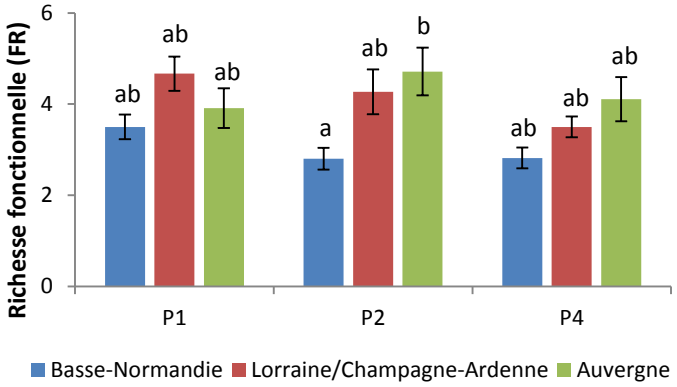


Figure 12 *: Histogramme de la richesse fonctionnelle obtenue pour les trois régions en fonction du type parcellaire, Moyennes +/- SEM. Les colonnes de l'histogramme qui ne sont pas reliées par une lettre commune sont significativement différentes selon les tests post-hoc de Tukey-HSD ou de Wilcoxon au seuil α = 0,05*

L'indice de dispersion fonctionnelle (χ^2 = 9,1093 ; df = 2 ; P = 0,01052), ainsi que l'indice de Rao (χ^2 = 7,6494 ; df = 2, P = 0,02182) diffèrent significativement entre les trois régions sur la parcelle P1 en particulier entre la Basse-Normandie et la Lorraine/Champagne-Ardenne (Figure 13).

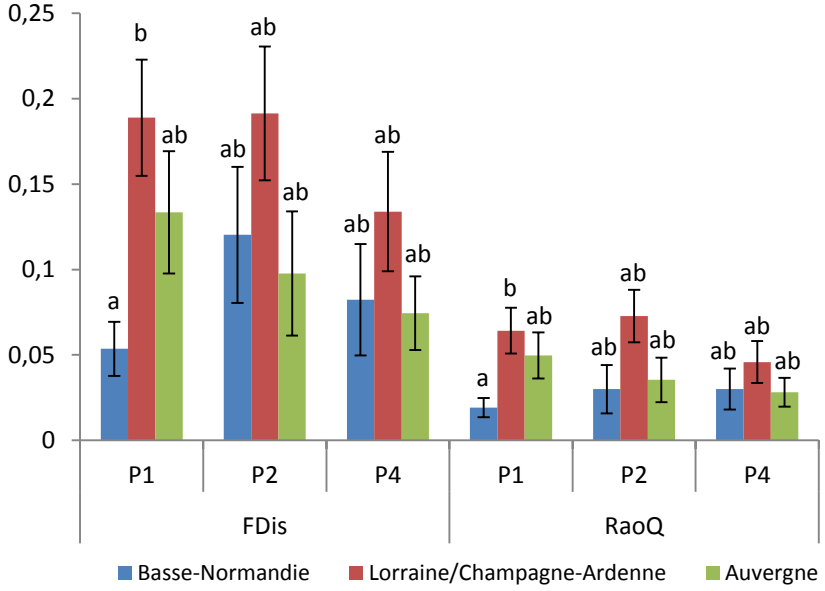


Figure 13 *: Histogrammes des indices de dispersion fonctionnelle (FDis) et d'entropie quadratique de Rao (RaoQ) obtenus pour les trois régions en fonction du type parcellaire, Moyennes +/- SEM.*
Les colonnes de l'histogramme qui ne sont pas reliées par une lettre commune sont significativement différentes selon les tests post-hoc de Tukey-HSD ou de Wilcoxon au seuil α = 0,05

En Basse-Normandie, les valeurs des indices de dispersion fonctionnelle et d'entropie quadratique de Rao sont très faibles. Ce résultat indique que la composition fonctionnelle du système contient des espèces très similaires du point de vue fonctionnel, c'est-à-dire une forte probabilité que deux individus prélevés aléatoirement aient des valeurs de traits identiques, ce qui signifie qu'un nombre important d'espèces appartiennent aux mêmes guildes dans cette région. La région Lorraine/Champagne-Ardenne est celle qui présente les indices de dispersion fonctionnelle et d'entropie quadratique de Rao les plus élevés. Cette région pourrait ainsi être constituée de paysages favorables à une diversité fonctionnelle des chiroptères, avec une probabilité plus élevée d'observer deux individus choisis aléatoirement ayant des valeurs de traits différents.

C. Influence des variables agricoles et paysagères sur la diversité

Des AFDM ont été réalisées sur les mesures des variables de pratiques agricoles et paysagères et les valeurs des quatre indices de diversité taxonomique et fonctionnelle calculés pour les trois régions. Les indices les plus représentatifs de la corrélation avec les variables sont l'indice de Shannon-Weaver H', la richesse fonctionnelle et l'indice d'entropie quadratique de Rao (Annexe 10).

1. Indices de diversité taxonomique

a. Effets des pratiques agricoles

Le premier plan factoriel résume 31,9% de la variabilité liée aux pratiques agricoles (CP1= 19,78% ; CP2 = 12,16%). Les variables les plus corrélées à l'indice de Shannon-Weaver sont la quantité de chaux « Chaux » (kg/ha/an), l'intensité d'utilisation de l'herbe (Grass Use index), le nombre de jours de présence au pâturage (JPP) et les variables décrivant la fauche (Figure 14). L'axe 1 est lié à la fertilisation organique et minérale alors que l'axe 2 est lié à la fertilisation totale, aux variables décrivant l'intensité du pâturage « JPP » (jours.UGB/ha) et « GU » (intensité de défoliation de la prairie).

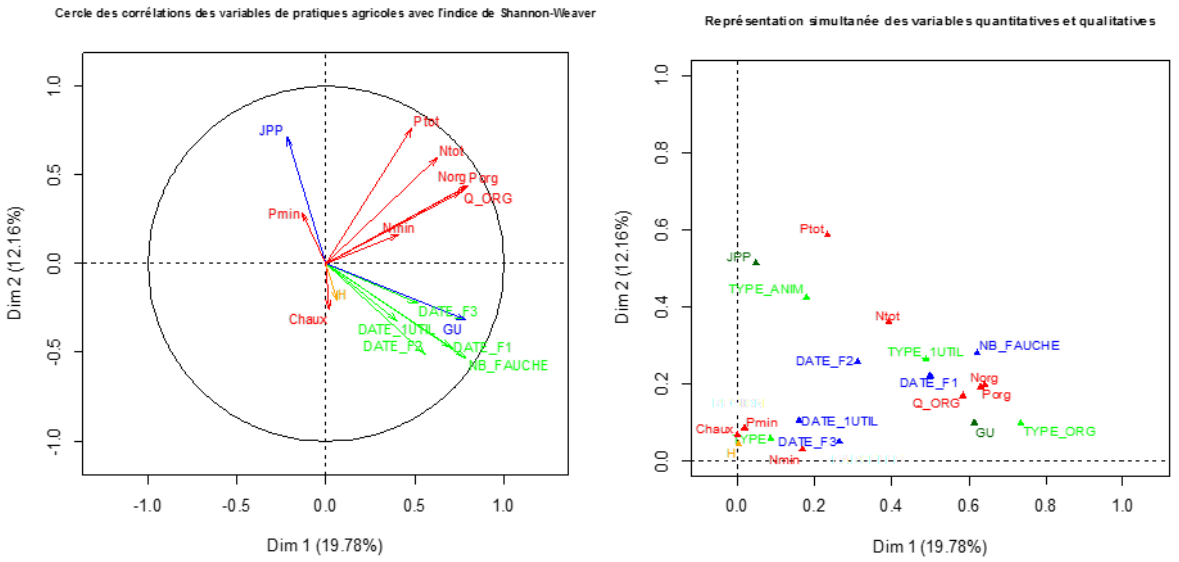


Figure 14 *: Cercles des corrélations (graphique de gauche) montrant les relations entre l'indice de Shannon-Weaver H' et les variables de pratiques agricoles et représentation des variables dans le plan factoriel (graphique de droite)*

b. Influence des variables paysagères

Le premier plan factoriel explique 34,8% de la variabilité liée aux infrastructures agro-écologiques (CP1 = 20,88% ; CP2 = 14%). Les variables qui sont le plus corrélées à l'indice de Shannon-Weaver sont les variables décrivant la surface et le périmètre des parcelles, la densité des mares et des haies dans les 300 m autour des parcelles (Figure 15). L'axe 1 est lié aux variables de diversité des IAE dans les 300 m « IAE300H », à l'indice de forme de la parcelle « PARC FORM » décrivant la compacité de la parcelle et aux variables détaillant les densités des différentes catégories d'IAE. L'axe 2 est expliqué par la densité des IAE dans le buffer de 300 m tracé autour des parcelles (« IAE300SURF »), par la densité des forêts dans ce buffer et par la surface et le périmètre de la parcelle.

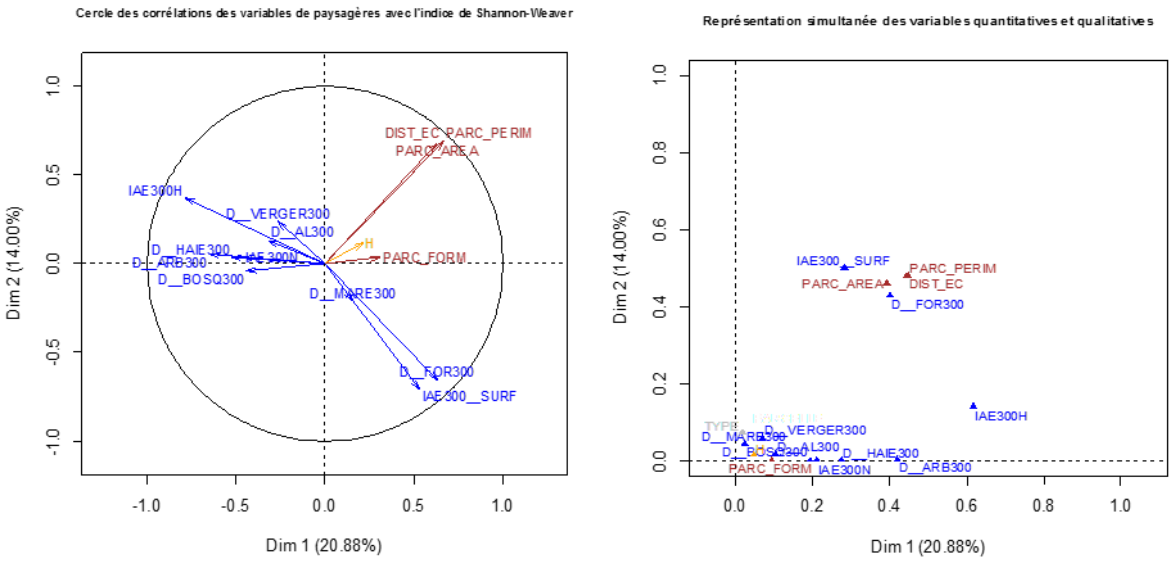


Figure 15 *: Cercles des corrélations (graphique de gauche) montrant les relations entre l'indice de Shannon-Weaver H' et les variables paysagères et représentation des variables dans le plan factoriel (graphique de droite)*

2. Indices de diversité fonctionnelle

a. Effets des pratiques agricoles

Le premier plan factoriel résume 32,3% de la variabilité associée aux pratiques agricoles. Les variables qui sont le plus liée à l'indice de richesse fonctionnelle sont la date de la première fauche, l'intensité de défoliation de la prairie (GU), le type d'animal d'élevage, le cas-type d'exploitation, la quantité totale de phosphore, le type d'utilisation de la parcelle (pâture ou fauche) et le type de fertilisation organique. D'autres variables sont fortement corrélées à l'indice d'entropie quadratique de Rao : le nombre de jours de présence au pâturage (JPP), la quantité totale d'azote (Figure 16). La région considérée a également une forte influence sur les valeurs des indices de diversité fonctionnelle. La représentation des variables avec l'indice de Rao montre que l'axe 1 est lié à la fertilisation organique et minérale, aux variables décrivant l'intensité de la fauche et que l'axe 2 est expliqué par les variables définissant l'intensité du pâturage (JPP et GU) et les variables résumant les types d'utilisation, de fertilisation, d'animaux d'élevage et de systèmes de production (cas-types) (Figure 18).

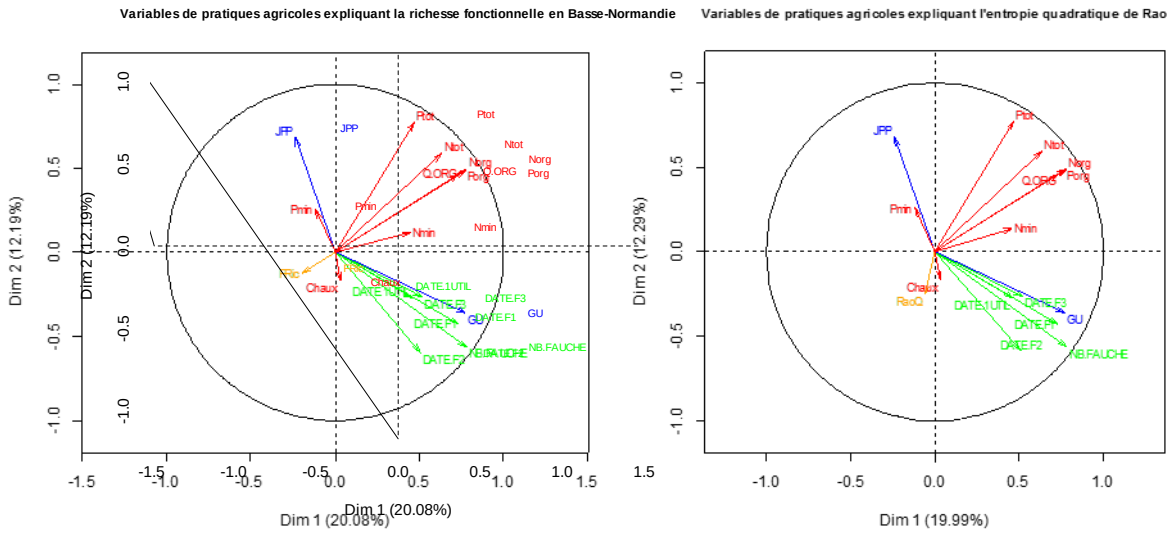


Figure 16 *: Cercles des corrélations montrant les relations entre l'indice de richesse fonctionnelle (FRic), l'indice d'entropie quadratique de Rao (RaoQ) et les variables de pratiques agricoles*

b. Influence des variables paysagères

Le premier plan factoriel résume 42,6% de la variabilité liées aux infrastructures agro-écologiques. Les variables paysagères les plus corrélées à la richesse fonctionnelle sont la densité de haies dans les 300 m autour de la parcelle, le périmètre et la surface de la parcelle, la densité des forêts et des vergers dans les 300 m, la densité et la diversité des IAE dans les 300 m autour des parcelles. Les variables qui sont également corrélée à l'indice de Rao sont la densité des arbres isolés et la densité des mares dans les 300 m autour des parcelles (Figure 17). La représentation des variables avec cet indice montre que l'axe 1 est expliqué par la densité des forêts dans les 300 m, par la densité, la diversité et l'équitabilité des IAE dans ce buffer et les densités relatives des différentes catégories d'IAE. L'axe 2 est lié aux mesures du périmètre et de la surface des parcelles (Figure 18).

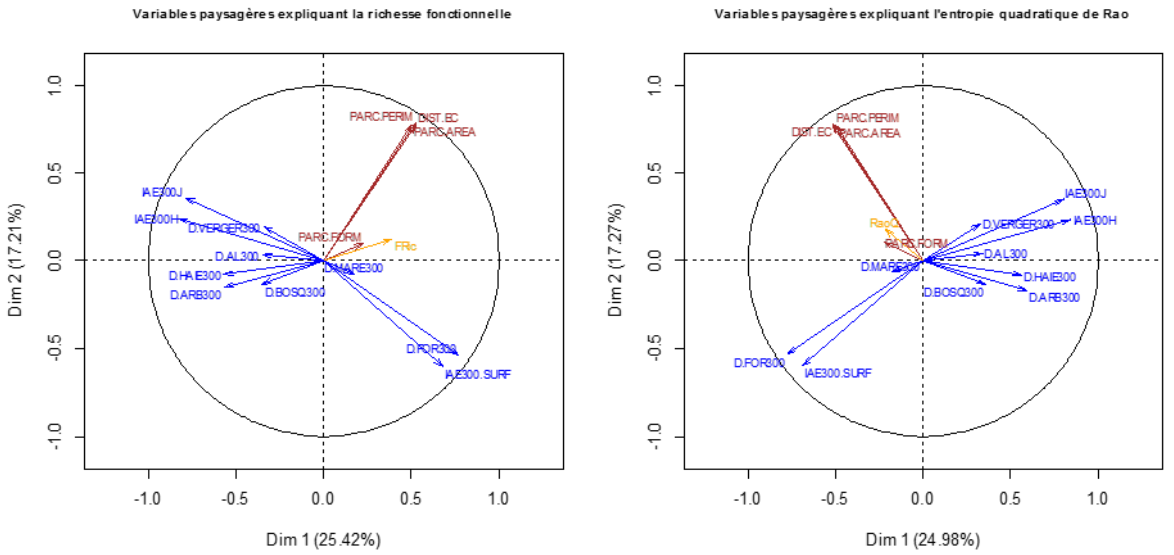


Figure 17 *: Cercles des corrélations montrant les relations entre l'indice de richesse fonctionnelle (FRic), l'indice d'entropie quadratique de Rao (RaoQ) et les variables paysagères*

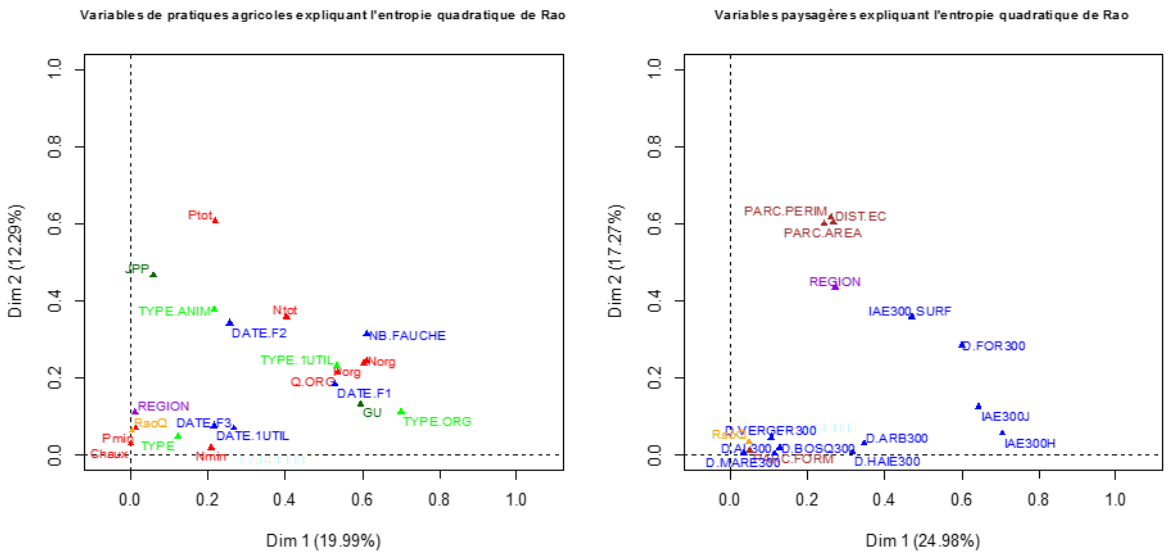


Figure 18 *: Représentations simultanées des variables quantitatives et qualitatives dans le plan factoriel montrant le lien entre les variables de pratiques agricoles ou paysagères et l'indice d'entropie quadratique de Rao*

D. Caractérisation des parcelles et des cas-types d'exploitations

1. Degré de différenciation selon les pratiques agricoles

La projection des individus sur les axes de l'AFDM permet d'observer la différenciation des types de parcelles et des cas-types d'exploitation selon les modalités des variables de pratiques agricoles mesurées. Sur la figure la parcelle P1 se distingue ainsi des autres parcelles sur la partie gauche de l'axe 1 pour les trois régions. Les parcelles P2 et P4 d'utilisation plus intensives que P1 sont assez proches sur l'axe 1. Les cas-types d'exploitation se différencient surtout au niveau de l'axe 2 (Figure 19).

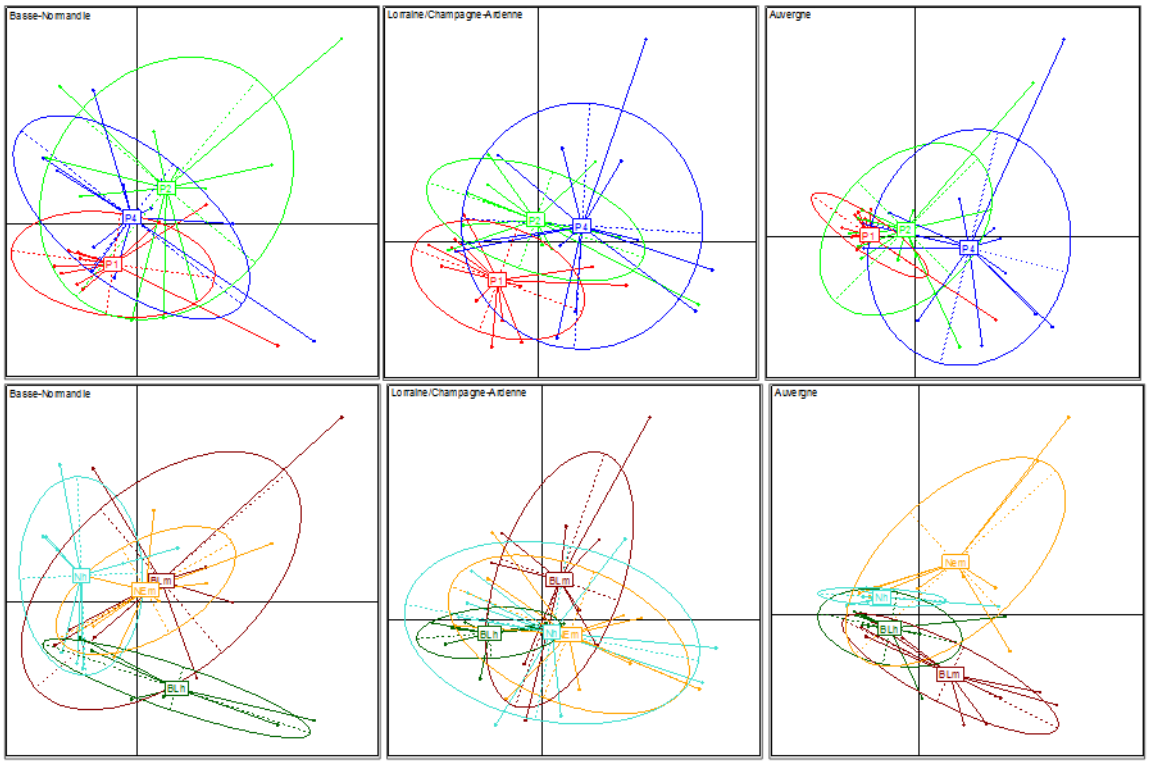


Figure 19 *: Projection des individus sur le plan factoriel définit par les variables de pratiques agricoles, permettant de caractériser les parcelles et les cas-types au niveau régional*

En Auvergne, l'axe 1 sépare les systèmes de type « herbager » (BLh, Nh) des systèmes associés à l'ensilage de maïs (BLm, Nem). Les systèmes « bovins laitiers » et « naisseurs » se croisent sur la projection des individus ce qui confirme leur rapprochement du point de vue des pratiques.

2. Degré de différenciation selon les variables paysagères

La projection des individus ne permet pas de distinguer les parcelles. L'axe 2 permet de différencier les quatre cas-types : les systèmes « Nem » et « BLm » se superposent en Basse-Normandie tandis que le système « Nem » se distingue des autres cas-types en Auvergne (Figure 20).

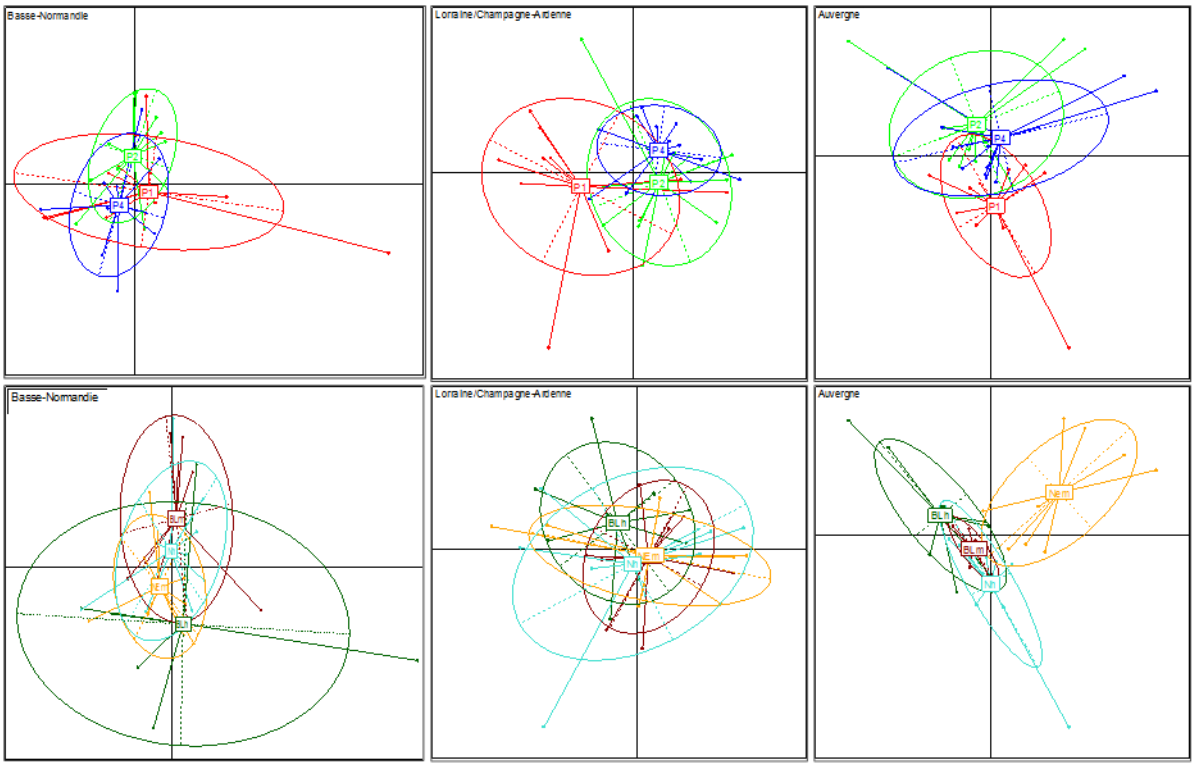


Figure 20 *: Projection des individus sur le plan factoriel définit par les variables paysagères, permettant de caractériser les parcelles et les cas-types au niveau régional*

Discussion

La dynamique à l'échelle d'un champ, d'un paysage et des régions est un élément important à prendre en compte dans le maintien de la biodiversité agricole. C'est pourquoi cette étude s'est intéressée à l'impact des pratiques agricoles et de la structuration du paysage à l'échelle de la parcelle, de cas-types d'exploitation et du territoire. Au niveau régional, la fréquentation des parcelles en Basse-Normandie était légèrement plus accrue en août-septembre 2012 qu'en juin-juillet 2013. L'origine de cette variation saisonnière pourrait être une activité de chasse plus intense à cette période, les jeunes prenant leur envol et commençant leur apprentissage à la fin de l'été, et les phénomènes d'essaimages se développant à l'approche de l'automne. La raréfaction des proies à cette période pourrait également accroître la fréquence de passage des chiroptères en chasse à cette période. Le type de parcelle n'a pas d'effet significatif sur l'indice de fréquentation pour les deux périodes.

Les résultats des indices de diversité pour la Basse-Normandie indiquent un indice de Shannon-Weaver faible et un indice d'équitabilité proche de 0, ce qui indique la dominance d'une espèce dans les inventaires de chiroptères réalisés dans cette région. Il s'agit de la Pipistrelle commune dont l'abondance relative par rapport aux autres espèces est supérieure à 85%. La parcelle P4 se distingue des parcelles P1 et P2 par un indice de Shannon-Weaver est supérieur à 1 et un indice d'équitabilité de Piélou maximal. Cette différence est significative par rapport aux parcelles P1 et P2 et révèle une répartition plus équilibrée des espèces sur le type parcellaire P4. Cette équirépartition est apparente sur les diagrammes des abondances relatives (Annexe 9). Il est intéressant de déterminer alors quels sont les facteurs qui influencent le choix des parcelles, en considérant l'activité des guildes de chiroptères. Le choix des terrains de chasse par les chauves-souris dépendrait en effet autant de la disponibilité en ressources que de la structure de la végétation qui leur permet de s'orienter par écholocation (Kusch *et al.*, 2004).

Les guildes de chiroptères peuvent être définies par leurs préférences en matière d'habitat, de régime alimentaire et de mode de chasse (Barataud, 2012 (2)). La description des indices d'activité moyen par guildes de chiroptères montre que les guildes majoritaires des relevés en Basse-Normandie (espèces de lisières, ubiquistes et chassant en poursuite) ont pour terrain de chasse privilégié les parcelles de type P1, P4 puis P2. Cette tendance pourrait s'expliquer essentiellement par la forte abondance de *Pipistrellus pipistrellus*, qui pèse de manière forte sur le calcul de l'indice d'activité global de ces guildes. En effet, l'activité de chasse de la pipistrelle commune est plus élevée dans des milieux ayant une faible densité d'arbres et un espace non-cloisonné (Fuentes-Montemayor *et al.*, 2013). L'activité des autres chauves-souris est néanmoins plus élevée au niveau de zones boisées en milieu agricole que dans les habitats environnants (Fuentes-Montemayor et al., 2013). Cependant, aucune différence significative n'est constatée selon le type parcellaire. Par ailleurs, l'activité des espèces forestières augmente de P1 à P4 ainsi que l'activité des espèces spécialistes. Or, on aurait pu s'attendre à un effet inverse, certaines espèces spécialistes telles que *Rhinolophus hipposideros* ayant pour terrain de chasse préférentiel les forêts (Reiters *et al.*, 2013). Cependant, des espèces spécialistes de lisière comme la Sérotine commune chassent des insectes volants de grande taille, plus abondants en milieux ouverts et peu dépendant de la végétation (Verboom et Huitema, 1997). Seules les espèces chassant en milieux ouverts montrent une réponse aggrégative à l'abondance en insectes (Müller *et al.*, 2012). L'activité moindre des ubiquistes et plus élevée des spécialistes sur la parcelle P4 pourrait être liée à une diversité diminuée en insectes, due à une pression de pâturage constante et plus intense que sur les autres parcelles. En effet, la réduction de l'intensité de pâturage augmente la diversité en insectes, généralement plus faible dans les parcelles gérées de manière intensive, alors que les densités en insectes seraient plus élevées près d'éléments verticaux du paysage qu'en habitats ouverts (Wickramasinghe *et al.*, 2004). Les espèces appartenant aux guildes d'espèces de lisière et d'habitats ouverts ont une activité qui augmente lorsque la densité de la végétation décroît (Müller *et al.*, 2012), ce qui peut expliquer l'augmentation de l'activité des espèces de lisière entre P2 et P4 et la présence d'une espèce de milieux ouverts (la Noctule commune) sur la parcelle P4 uniquement. Le Murin de Daubenton est le seul représentant de la guilde d'espèces de cours d'eau, peu présent dans les inventaires des trois régions et plus abondant sur la parcelle P4. Ce constat pourrait s'expliquer par le haut niveau de spécialisation du Murin de Daubenton pour certaines familles d'insectes (Akasaka *et al.*, 2009), et par la possibilité de présence d'insectes provenant de cours d'eau dans un milieu plus ouvert, la parcelle P4 étant caractérisée par l'absence d'IAE.

L'analyse comparative des trois régions montre que la diversité taxonomique des chiroptères est corrélée aux variables décrivant la fertilisation organique et minérale et aux variables décrivant la technique de fauche.

La fertilisation est une composante principale décrivant l'intensification des pratiques agricoles. En effet, l'intensification de l'agriculture est définie comme une augmentation des intrants agricoles par unité d'aire et a été permise par une mécanisation croissante et l'utilisation de fertilisants chimiques et de pesticides (Wickramasinghe *et al.*, 2004). L'agriculture biologique est un système de production qui exclut ces fertilisants synthétiques. L'activité (nombre de contacts) et la composition spécifique diffèrent significativement entre une ferme biologique et une ferme traditionnelle, avec une activité totale 61% plus élevée dans une ferme biologique que dans une ferme traditionnelle (Wickramasinghe *et al.*, 2004). En ce qui concerne les variables paysagères, la densité des mares et des haies dans un buffer de 300 m autour des parcelles est liée à l'indice de Shannon-Weaver. La création de zones humides artificielles par irrigation en milieu agricole pourrait ainsi être favorable à toutes les espèces de chiroptères, comme il a été démontré dans plusieurs études récentes (Sirami *et al.*, 2013 ; Stahlschmidt *et al.*, 2012), dans un contexte d'intensification de l'agriculture.

Les modifications du paysage par intensification agricole dépendent essentiellement des changements du type de production et de la technique de production (Burel et Baudry, 1995). La comparaison des richesses spécifiques par cas-types montre que les systèmes de type « Bovins laitiers herbagers » et « Naisseurs herbagers » sont plus favorables à la présence de nombreuses espèces de chauves-souris que les systèmes associés à des cultures de maïs parfois utilisé en ensilage pour les bovins. Les champs de maïs, qui sont gérés de manière intensive, sont en effet moins favorables pour l'abondance et la diversité en insectes (Biadi, 1998 ; Wickamasinghe, 2004). Ce constat est particulièrement marquant en Auvergne où le climat montagnard encourage ce type de production herbager, moins en Basse-Normandie où le climat océanique pourrait être à l'origine de richesses spécifiques de chauves-souris plus faibles. Les précipitations extrêmes en Basse-Normandie peuvent diminuer l'activité de chasse des chiroptères et entrainer la désertion du milieu par les jeunes (Jones *et al.*, 2009). Les précipitations ont en particulier un effet négatif sur deux espèces (*E.serotinus, N.noctula*) tandis que les températures élevées ont un effet positif sur les sérotines, pipistrelles et noctules (Ciechanowski *et al.*, 2007). La richesse spécifique est plus importante en Auvergne que dans les régions plus au Nord car il a été montré que la richesse spécifique en chauves-souris augmente lorsque la latitude diminue (Mehr *et al.*, 2011). Cependant, l'utilisation des terres agricoles apparaît plus importante que le climat pour la constitution des assemblages de chiroptères (Mehr *et al.*, 2011).

La diversité fonctionnelle a été représentée par les deux indices les plus pertinents pour analyser des traits fonctionnels qualitatifs, correspondants aux guildes. La régularité fonctionnelle n'a donc pas été considérée pour l'interprétation ainsi que la dispersion fonctionnelle, corrélée étroitement à l'indice de Rao (Laliberté et Legendre, 2010). L'indice de richesse fonctionnelle FRic est corrélé positivement au nombre d'espèces, qui permet d'illustrer la diversité des guildes. Cependant, cet indice ne prend pas en compte la variabilité individuelle qui peut différer d'un site à l'autre (Schleuter *et al.*, 2010). L'indice de Rao est basé sur l'indice de diversité de Simpson et intègre les dissimilarités entre les paires d'espèces. La richesse fonctionnelle et l'entropie quadratique de Rao sont fortement dépendant de l'intensité de défoliation de la prairie, de la date de la première fauche, des cas-types, du type d'utilisation et de fertilisation, et du nombre de jours de présence au pâturage. Ce résultat pourrait s'expliquer par des variations d'abondances en insectes selon la pression de pâturage, le type de culture et les modes de fertilisation des parcelles (Wickamasinghe, 2004). L'une des variables déterminante pour la richesse fonctionnelle est la densité de forêts dans les 300 m autour des parcelles. La densité de forêts pourrait augmenter l'abondance des espèces spécialistes et forestières car dans le cas de forêts mixtes cet habitat procure une structure paysagère complexe et agit comme une barrière aux effets du vent, ce qui peut accroître l'abondance et la diversité des insectes (Boughey *et al.*, 2011).

Les densités des arbres isolés et des mares dans les 300 m expliquent également l'indice de Rao. L'activité de chasse des chauves-souris pourrait être liée à la présence de ces habitats. Il a notamment été constaté que l'activité augmente lorsque la densité en arbres augmente jusqu'à 20-30 arbres par hectare puis diminue au-delà, possiblement due à la fermeture du milieu (Lumsden et Bennett, 2005). Par ailleurs, les haies hautes apportent ainsi une grande disponibilité en proies et les haies sans arbres sont utilisées uniquement quand d'autres habitats de qualité supérieure ne sont pas accessibles (Boughey *et al.*, 2011), ce qui pourrait expliquer une diversité fonctionnelle plus importante au niveau des parcelles caractérisées par la présence d'IAE. Cependant, la réponse d'agrégation des chauves-souris autour d'une végétation dense peut être une conséquence d'abondances faibles et imprévisibles d'insectes dans les habitats ouverts (Müller *et al.*, 2012). Les chiroptères fréquentent également les zones humides avec ripisylve, rangées d'arbres et lisières de forêts caduques et mixtes, en évitant les milieux ouverts comme les prairies gérées de manière intensive (Russ et Montgomery, 2002).

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. La diversité des chiroptères est également déterminée par la densité de certaines catégories d'IAE (haies, arbres, mares) dans un buffer de 300 mètres.

Conclusion

Cette étude apporte des éléments de réponses supplémentaires pour le projet INDIBIO qui vise à établir les relations entre des indicateurs relatifs aux pratiques des agriculteurs et aux infrastructures agro-écologiques et la biodiversité ordinaire dans les systèmes d'exploitation d'élevage. La diversité et de l'activité des chiroptères ne semblent pas influencées par le type parcellaire, avec toutefois une meilleure équirépartition des espèces pour la parcelle P4 en Basse-Normandie. Les systèmes d'exploitation définis par les cas-types ont néanmoins un impact sur la richesse spécifique des chauves-souris, avec un effet plus avantageux des systèmes herbagers complets par rapport aux systèmes couplés à des cultures de maïs. L'analyse de l'indice d'activité et de la diversité fonctionnelle met en évidence des réponses différentes selon les guildes et dépendantes du type parcellaire et de la région. La comparaison des résultats avec les précédents inventaires (Rolland, 2013) montre que la fréquentation des chauves-souris varie au cours du cycle de la chauve-souris, avec une variation saisonnière de l'activité de chasse probablement en lien avec l'apprentissage de la chasse par les jeunes et la raréfaction des insectes en août-septembre.

Les variables de pratiques agricoles qui ont l'effet le plus significatif sur la diversité sont la fertilisation, la fréquence de fauche, la pression de pâturage. A l'échelle du paysage, ce sont les variables liées à la complexité de la forme de la parcelle, les variables définissant la densité des mares, des haies, des forêts et des arbres isolés dans un rayon de 300 m qui influencent fortement la diversité des chiroptères.

Dans un souci de préservation de la diversité en chiroptères dans les territoires agricoles, ces résultats démontrent que la création de zones humides artificielles comme les mares de rétention dans un paysage agricole exploité intensivement pourrait profiter aux chauves-souris, comme cela a été montré au sein de vignobles (Stahlschmidt *et al.*, 2012). La présence de haies ou d'alignements d'arbres pourrait également être bénéfiques aux chauves-souris (Boughey *et al.*, 2011 ; Fuentes-Montemayor *et al.*, 2013). Les bords de chemin de fer traversant les paysages agricoles pourraient par ailleurs constituer des habitats de substitution aux IAE qui tendent à disparaître (Vandevelde *et al.*, 2014).

Références bibliographiques

Akasaka, T., Nakano, D., Nakamura, F., 2009. Influence of prey variables, food supply, and river restoration on the foraging activity of Daubenton's bat (*Myotis daubentonii*) in the Shibetsu River, a large lowland river in Japan. *Biological Conservation* 142, 1302–1310.

Ansay Ir. F., 2006. Les potentialités d'accueil de la vie sauvage : les milieux agricoles. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. Faune et Biotopes. 101 p.

Arthur, L. et Lemaire, M., 2009. Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. *Biotope*, 544 p. ISBN : 9782856536308.

Arthur, L. et Lemaire, M., 2005. Les chauves-souris : maîtresses de la nuit. *Delachaux & Niestlé*, 272 p. ISBN : 978-260-301-461-5.

Barataud, M., 2012 (1). Rapport d'étude : Fréquentation des prairies de fauche par les chiroptères en chasse dans les Alpes du Sud

Barataud, M., 2012 (2). Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe: Identification des espèces, étude de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope, p. 344 ISBN 9782914817820.

Bayat S., Geiser F., Kristiansen P., Wilson S. C., 2014. Organic contaminants in bats: Trends and new issues. *Environment International*, 63, 40-52

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 (2), 125-138

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.G., Cryan, P.M, McCracken, G.F., Hunz, T.H., 2011. Economic importance of bats in agriculture. *Science*. 332 (6025), 41-42.

Bunyan, P. J. et Stanley, P. I., 1983. The environmental cost of pesticide usage in the United Kingdom. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 9 (2), 187‑209.

Burel, F. et Baudry, J., 1995. Species biodiversity in changing agricultural landscapes: A case study in the Pays d'Auge, France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 55, 193–200.

Burel, F., Garnier, E., Amiaud, B., et al., 2008. Chapitre 1. Les effets de l'agriculture sur la biodiversité. Dans : Le Roux X, Barbault R, Baudry J, Burel F, Doussan I, Garnier E, Herzog F, Lavorel S, Lifran R, Roger-Estrade J, Sarthou J-P, M. T (éds.) : Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective (ESCo), synthèse du rapport, *INRA*, France, 1-139.

Carravieri, A. et Scheifler, R., 2012. Effets des substances chimiques sur les Chiroptères - Etat des connaissances - Rapport bibliographique. UMR Chrono-environnement : Université de Franche-Comté. 65 p.

Ciechanowski, M., Zajac, T., Bilas, A., Dunajski, R., 2007. Spatiotemporal variation in activity of bat species differing in hunting tactics : effects of weather, moonlight, food abundance, and structural clutter. *Canadian Journal of Zoology*. 85, 1249-1263.

Davies, Z. G., Pullin, A. S., 2007. Are hedgerows effective corridors between fragments of woodland habitat? An evidence-based approach. *Landscape Ecology*, 22, 333–351

Debras, J.-F., 2007. Rôles fonctionnels des haies dans la régulation des ravageurs: le cas du psylle *Cacopsylla pyri L.* dans les vergers du sud-est de la France (Thèse de doctorat). Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, France.

Dubois, G., 2008. Les « infrastructures agro-écologiques » : état des lieux dans les communes françaises. Economie et évaluation. *Le point sur.* n°145, 4 p.

Flamant, J.-C., 2010. Une brève histoire des transformations de l'agriculture au 20ème siècle. Mission Agrobiosciences, ENSAT Toulouse, 20 p.

Fox, J. , 2005. The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14(9): 1-42.

Fuentes-Montemayor, E., Goulson, D., Cavin, L., Wallace, J. M., Park, K. J., 2013. Fragmented woodlands in agricultural landscapes: The influence of woodland character and landscape context on bats and their insect prey. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 172, 6 15

Fuller, R.J., Norton, L.R., Feber, R.E., Johnson, P.J., Chamberlain, D.E., Joys, A.C., Mathews, F., Stuart R.C., Townsend M.C., Manley W.J., Wolfe M.S., MacDonald D.W., Firbank L.G., 2005. Benefits of organic farming to biodiversity vary among taxa. *Biology Letters*. 1, 431–434.

Giraudoux, P., 2014. pgirmess: Data analysis in ecology. R package version 1.5.9. http://CRAN.R-project.org/package=pgirmess

Godineau, F. et Pain, D., 2007. Plan de restauration des chiroptères en France métropolitaine, 2008 – 2012, *Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères / Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables*, 79 p.

Husson, F., Josse, J., Le, S. et Mazet, J., 2014. FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining with R. R package version 1.26. http://CRAN.R-project.org/package=FactoMineR

Huyghe, C., 2009. Evolution des prairies et cultures fourragères et de leurs modalités culturales et d'utilisation en France au cours des cinquante dernières années. *Fourrages*, 200, 407-428.

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.

Jensen, M.E., Moss, C.F., Surlykke, A., 2005. Echolocating bats can use acoustic landmarks for spatial orientation. *Journal of experimental biology*. 208 (23), 4399-4410.

Kalko, E.K.V., Schnitzler, H.-U., 1993. Plasticity in echolocation signals of European pipistrelle bats in search flight: implications for habitat use and prey detection. *Behav Ecol Sociobiol* 33, 415–428.

Knochel, A., 2009. Connaître et Protéger les Chauves-souris de Lorraine. CPEPESC Lorraine., 562 p. ISBN 9782953300604.

Kunz, T.H., Braun de Torrez, E., Bauer, D., Lobova, T., Fleming, T.H., 2011. Ecosystem services provided by bats. *Annals of the New York Academy of Sciences*. Issue : The Year in Ecology and Conservation Biology.1223, 1-38.

Kusch, J., Weber, C., Idelberger, S., Koob, T., 2004. Foraging habitat preferences of bats in relation to food supply and spatial vegetation structures in a western European low mountain range forest. *Folia Zoologica* 53, 113–128.

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.

Laliberté, E., et P. Legendre, 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. *Ecology* 91:299-305.

Laliberté, E. et B. Shipley., 2011. FD: measuring functional diversity from multiple traits, and other tools for functional ecology. R package version 1.0-11.

Lisón, F., Calvo, J.F., 2013. Ecological niche modelling of three pipistrelle bat species in semiarid Mediterranean landscapes. *Acta oecologica*. 47, 68-73.

Mehr, M., Brandl, R., Hothorn, T., Dziock, F., Förster, B., Müller, J., 2011. Land use is more important than climate for species richness and composition of bat assemblages on a regional scale. *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde* 76, 451–460.

Müller, J., Mehr, M., Bässler, C., Brock Fenton, M., Hothorn, T., Pretzsch, H., Klemmt, H-J., Brandl, R., 2012. Aggregative response in bats : prey abundance versus habitat. *Oecologia*. 169 (3), 673-684.

Muséum d'Histoire Naturelle de Bourges, 2009. [en ligne] http://www.museum-bourges.net

Obrist, M. K., Rathey, E., Bontadina, F., Martinoli, A., Conedera, M., Christe, P., Moretti, M., 2011. Response of bat species to sylvo-pastoral abandonment. *Forest Ecology and Management*, 261, 789-798

R Core Team, 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http://www.R-project.org/.

Reiter, G., Pölzer, E., Mixanig, H., Bontadina, F., Hüttmeir, U., 2013. Impact of landscape fragmentation on a specialised woodland bat, Rhinolophus hipposideros. *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde* 78, 283–289.

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.

Rolland, C., 2013. Effets des pratiques agricoles et des infrastructures agro-écologiques sur la diversité des chiroptères. Rapport de Master 2 professionnel EBEN, INP Toulouse – ENSAT

Russ, J.M., Montgomery, W.I., 2002. Habitat associations of bats in Northern Ireland: implications for conservation. *Biological Conservation* 108, 49–58.

Sirami, C., Jacobs, D.S., Cumming, G.S., 2013. Artificial wetlands and surrounding habitats provide important foraging habitat for bats in agricultural landscapes in the Western Cape, South Africa. *Biological Conservation*, 164, 30–38.

Stahlschmidt, P., Brühl C. A., 2012. Bats at risk? Bat activity and insecticide residue analysis of food items in an apple orchard. Environmental Toxicology and Chemistry, 31 (7), 1556-1563

Stahlschmidt, P., Pätzold, A., Ressl, L., Schulz, R., Brühl, C.A., 2012. Constructed wetlands support bats in agricultural landscapes. Basic and Applied Ecology 13, 196–203.

Vandevelde, J.-C., Bouhours, A., Julien, J.-F., Couvet, D., Kerbiriou, C., 2014. Activity of European common bats along railway verges. *Ecological Engeneering*, 64, 49-56

Verboom, B. et Spoelstra, K., 1999. Effects of food abundance and wind on the use of tree lines by an insectivorous bat, Pipistrellus pipistrellus. *Canadian Journal of Zoology*. 77, 1393-1401

Verboom, B. et Huitema, H., 1997. The importance of linear landscape elements for the pipistrelle Pipistrellus pipistrellus and the serotine bat Eptesicus serotinus. *Landscape Ecology*.12 (2), 117-125.

Wickramasinghe, L.P., Harris, S., Jones, G., Jennings, N.C., 2004. Abundance and species richness of nocturnal Insects on organic and conventional farms : effects of agricultural intensification on bat foraging. *Conservation biology*. 18 (5), 1283-1292.

Wolcott, K.A., Vulinek, K., 2012. Bat Activity at Woodland/Farmland Interfaces in Central Delaware. *Northeastern naturalist*. 19 (1), 87-98.

Annexe 1 : Présentation du programme INDIBIO

Objectif : Identification et validation d'INDIcateurs pertinents relatifs aux pratiques agronomiques et aux infrastructures permettant d'évaluer la BIOdiversité dans les systèmes d'exploitation d'élevage et de polyculture-élevage

Financement : Ce projet d'Identification et validation d'iNDIcateurs pertinents relatifs aux pratiques agronomiques et aux infrastructures agro-écologiques, permettant d'évaluer la BIOdiversité dans les systèmes d'exploitation d'élevage et de polyculture-élevage, est financé par le CASDAR dans le cadre de la recherche finalisée et innovation, pour apporter des solutions innovantes répondant aux principaux enjeux sur la biodiversité. Il se déroule sur les années 2011-2013.

Partenaires : Institut de l'élevage et trois équipes INRA spécialisées dans les relations entre pratiques agricoles et biodiversité (INRA URH Clermont, INRA UMR Agronomie Grignon, UMR INRA Agronomie et Environnement Nancy - Colmar), Muséum National d'Histoire Naturelle et France Nature Environnement

Quatre actions clés pour répondre aux objectifs d'INDIBIO :

1. Identifier et sélectionner des variables indicatrices de biodiversité en réalisant une analyse approfondie de celles utilisées dans le cadre de la recherche scientifique et en mobilisant une expertise scientifique multiple. Elle se complète par une prise en considération du point de vue des agriculteurs évoqué à l'occasion d'entretiens collectifs conduits spécifiquement pour ce projet. L'objectif est de fournir un inventaire des indicateurs potentiels (directs ou indirects) qualifiant la biodiversité et d'en sélectionner les plus pertinents.

2. Etablir la relation entre les effets, des pratiques agricoles, de l'organisation du territoire des exploitations agricoles (indicateurs de pression) sur l'état de l'écosystème et de ses composantes de biodiversité (indicateurs d'état). Cette mise en relation est réalisée à partir d'une sélection de critères identifiés dans l'inventaire pour ensuite établir un lien avec un état observé et une pression de pratiques agricoles ou de l'organisation spatiale du territoire. Des expérimentations et relevés complémentaires seront effectués en fermes pour alimenter la production de ces indicateurs de pression.

3. Etudier et analyser les différentes méthodes de regroupement ou d'agrégation existantes en les appliquant aux indicateurs sélectionnés pour les traduire en indicateur d'impact tout en conservant de la compréhension par des agriculteurs et de lisibilité sur les principaux leviers disponibles.

4. Tester sur un panel de fermes l'accessibilité des données nécessaires, la simplicité de la mise en œuvre et d'interprétation. Cette analyse se fixe également comme objectif d'apprécier la sensibilité des résultats obtenus à partir les fermes enquêtées et d'évaluer le niveau de biodiversité de différents systèmes de production d'élevage.

Finalité du projet : Un ensemble réduit et simplifié d'indicateurs fiables sur le plan scientifique ayant du sens auprès des agriculteurs sera mis à disposition des prescripteurs agricoles. La finalité de ces indicateurs sera d'apprécier le niveau de prise en compte de la biodiversité sur une exploitation agricole en mesurant l'impact des pratiques sur la biodiversité ordinaire.

La validation scientifique des indicateurs sera réalisée à partir de publications scientifiques dans des revues d'audience internationale.

Annexe 2 : Guildes des chiroptères d'Europe en milieux ouverts et semi-ouverts (Barataud, 2012 (2))

Habitat		Comportement chasse		Valence trophique		Espèces
F	Forestier	G	Glaneur	S	Spécialiste	*Myotis emarginatus*
						Myotis myotis
						Plecotus auritus
						Plecotus austriacus
						Plecotus macrobullaris
				U	Ubiquiste	*Myotis nattereri*
						Myotis escalerai
						Myotis bechsteinii
		P	Poursuite	S	Spécialiste	*Rhinolophus ferrumequinum*
						Rhinolophus hipposideros
						Rhinolophus euryale
						Rhinolophus mehelyi
						Barbastella barbastellus
				U	Ubiquiste	*Myotis daubentonii*
						Myotis brandtii
						Myotis mystacinus
						Myotis alcathoe
L	Lisière	G	Glaneur	S	Spécialiste	*Myotis oxygnathus*
				U	Ubiquiste	*Myotis punicus*
		P	Poursuite	S	Spécialiste	*Miniopterus schreibersii*
				U	Ubiquiste	*Eptesicus serotinus*
						Eptesicus nilssonii
						Pipistrellus pipistrellus
						Pipistrellus nathusii
						Pipistrellus kuhlii
						Pipistrellus pygmaeus
						Hypsugo savii
C	Cours d'eau, plans d'eau	G	Glaneur	S	Spécialiste	*Myotis daubentonii*
		P	Poursuite	S	Spécialiste	*Myotis capaccinii*
						Myotis dasycneme
				U	Ubiquiste	*Vespertilio murinus*
A	Aérien	P	Poursuite	S	Spécialiste	*Nyctalus lasiopterus*
						Tadarida teniotis
				U	Ubiquiste	*Nyctalus noctula*
						Nyctalus leisleri

Annexe 3 : Exemples d'espèces de chauves-souris appartenant aux quatre familles recensées en France métropolitaine

Rhinolophidés

Rhinolophus ferrumequinum
(Grand Rhinolophe)

Rhinolophus hipposideros
(Petit Rhinolophe)

Vespertilionidés

Pipistrellus pipistrellus (Pipistrelle commune)

Nyctalus noctula (Noctule commune)

Myotis brandtii (Murin de Brandt)

Barbastellus barbastellus
(Barbastelle d'Europe)

Plecotus auritus (Oreillard roux)

Molossidés

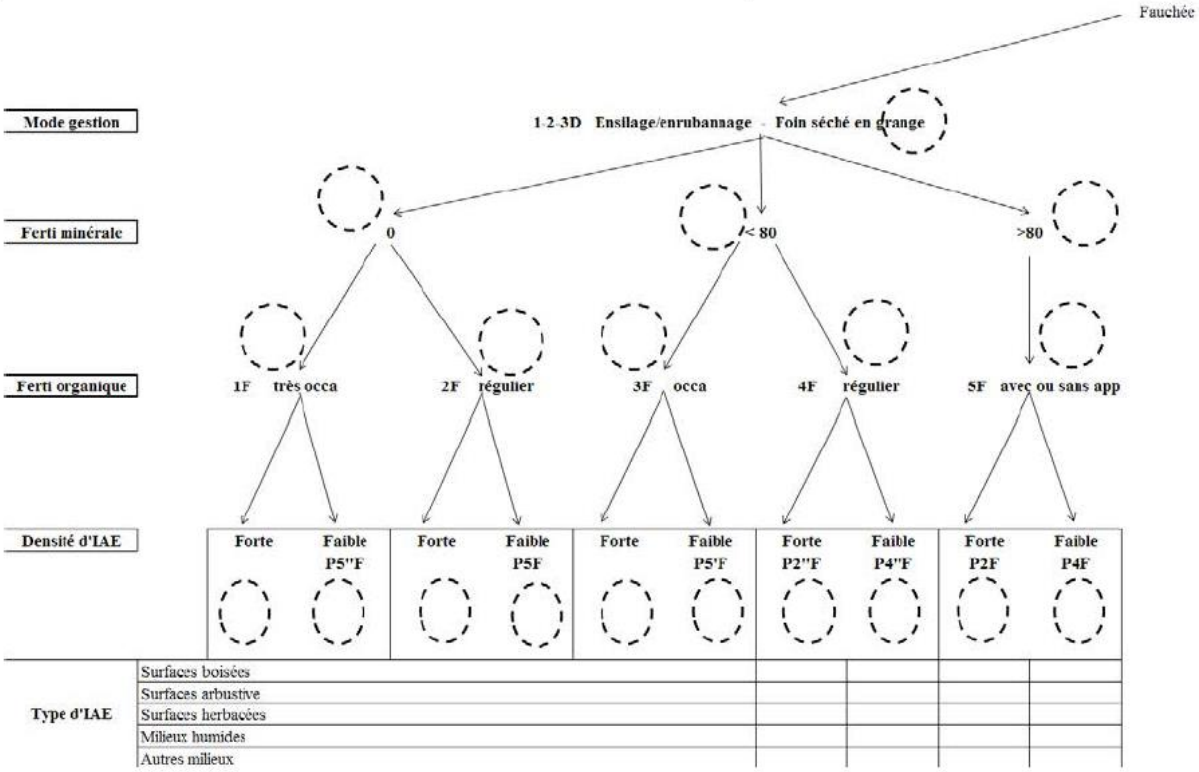
Tadarida teniotis (Molosse de Cestoni)

Minioptéridés

Miniopterus schreibersii
(Minioptère de Schreibers)

Annexe 4 : Critères de choix des parcelles types

Arbre de décision permettant de choisir les parcelles-types



Annexe 5 : Liste des variables de pratiques agricoles du programme INDIBIO

Variables pratiques agricoles		Code	Description	Unité
PATURAGE	Jours de Présence au Pâturage	**JPP**	Variable continue. Les Unités de Gros Bétail (UGB) sont multipliées par le nombre de jours de pâturage, puis divisées par la surface en hectare. Les coefficients UGB sont présentés ci-dessous	jours.UGB/ha
FAUCHE	Nombre de fauches par an	**NB.FAUCHE**	Variable continue. Nombre de coupes effectuées dans l'année sur la parcelle	coupe/an
PATURAGE / FAUCHE	Date de première utilisation	**DATE.1UTIL**	Variable continue. La date de première utilisation sur la parcelle est convertie en décade.	décade
	Intensité d'utilisation de l'herbe (Grass Use index)	**GU**	Variable continue. Cette variable est utilisée pour estimer l'intensité de la défoliation de la prairie. L'idée est de regrouper la défoliation par les animaux avec la fauche. Nous supposons qu'une fauche équivaut à 100% de défoliation de la végétation. Pour le taux de chargement, un pourcentage de surface défoliée par rapport au taux de chargement a été créé. Pour calculer le pourcentage de défoliation engendré par la pâture on utilise l'indice "Grass Use" (GU) : GU = 16,60487 × ln (JPP) - 21,49643	%
FERTILISATION ET AMENDEMENT	Quantité de fertilisation organique	**Q.ORG**	Variable continue. Quantité de fertilisation organique déposée par l'agriculteur par hectare et par an	T/ha/an
	Quantité d'azote minérale	**Nmin**	Variable continue. La quantité de fertilisation minérale est transformée en quantité d'azote (en kg). Quantité divisée par la superficie de la prairie.	kg/ha/an
	Quantité d'azote organique	**Norg**	Variable continue. La quantité de fertilisation organique est transformée en quantité d'azote (en kg) en utilisant les coefficient ci-dessous. Puis divisée par la superficie de la prairie.	kg/ha/an
	Quantité totale d'azote	**Ntot**	Variable continue. Somme de tous les apports d'azote sur la prairie. Il faut d'abord calculer la quantité d'azote apportée par le retour d'animaux. Celui-ci est égal à : N Retour Animaux = JPP × 0,1218 (voir ci-dessous). Nous avons alors : Ntot = Nmin + Norg + N Retour Animaux (JPP × 0,1218)	kg/ha/an
	Quantité de phosphore minérale	**Pmin**	Variable continue. La quantité de fertilisation minérale est transformée en quantité de phosphore (en kg) . Quantité divisée par la superficie de la prairie	kg/ha/an
	Quantité de phosphore organique	**Porg**	Variable continue. La quantité de fertilisation organique est transformée en quantité de phosphore (en kg). Puis divisée par la superficie de la prairie.	kg/ha/an
	Quantité totale de phosphore	**Ptot**	Variable continue. Somme de tous les apports de phosphore de la prairie. La variable est calculer de la même façon que Ntot avec le coefficient 0,0507.	kg/ha/an
	Quantité de chaux	**Chaux**	Quantité de chaux apporté sur la praire par an.	kg/ha/an

Annexe 6 : Liste des variables paysagères du programme INDIOBIO pour un buffer de 300 m autour des parcelles

Variables paysagères	Code	Description	Unité
Surface des parcelles techniques	**PARC.AREA ou A**	Surface des parcelles techniques dans lesquelles ont été effectués les relevés floristiques	mètre-carré
Périmètre des parcelles techniques	**PARC.PERIM ou P**	Périmètre des parcelles techniques dans lesquelles ont été effectués les relevés floristiques	mètre
Indice de forme de la parcelle technique	**PARC FORM**	Un indice de forme a été utilisé pour décrire la compacité de chaque champ, à savoir comment la surface et le périmètre se rapportent les uns aux autres. L'indice de forme est alors : PARC FORM = P / (2 X (√(π X A)) avec P= périmètre (m) et A = surface (m²). (Comber *et al.*, 2003 ; De Clercq *et al.*, 2006 ; Cousins et Aggemyr, 2008)	l'éloignement de la valeur 1 décrit la complexité de la parcelle
Diversité des IAE dans les 300 m autour des parcelles	**IAE300H**	La diversité des IAE dans les 300 m autour des parcelles a été calculée avec l'indice de Shannon	
Equitabilité des IAE dans les 300 m autour des parcelles	**IAE300J**	L'équitabilité des IAE 300 m autour des parcelles a été calculée avec l'indice d'équitabilité : J = H'/log2 (S)	
Densité des IAE dans les 300 m autour des parcelles	**IAE300.SURF**	Surface totale des IAE dans le buffer de 300m x 100 / surface totale du buffer de 300 m	%
Densité des bosquets dans les 300 m autour des parcelles	**DBOSQ.300**	Surface des bosquets dans le buffer de 300m x 100 / surface totale du buffer de 300 m	%
Densité des forêts dans les 300 m autour des parcelles	**DFOR.300**	Surface des forêts dans le buffer de 300m x 100 / surface totale du buffer de 300 m	%
Densité des haies dans les 300 m autour des parcelles	**DHAIE.300**	Surface des haies dans le buffer de 300m x 100 / surface totale du buffer de 300 m	%
Densité des mares dans les 300 m autour des parcelles	**DMARE.300**	Surface des mares dans le buffer de 300m x 100 / surface totale du buffer de 300 m	%
Densité des vergers dans les 300 m autour des parcelles	**DVERGER.300**	Surface des vergers dans le buffer de 300m x 100 / surface totale du buffer de 300 m	%
Densité des arbres isolés dans les 300 m autour des parcelles	**DARB.300**	Surface d'arbres isolés dans le buffer de 300m x 100 / surface totale du buffer de 300 m	%
Densité des alignements d'arbres dans les 300 m autour des parcelles	**DAL.300**	Surface d'alignements d'arbres dans le buffer de 300m x 100 / surface totale du buffer de 300 m	%

Annexe 7 : Clé de validation des identifications effectuées par le logiciel Sonochiro présentée dans la notice de Sonochiro ® 3.0 (Biotope, Recherche & Développement, 2013)

A) L'identification est bonne

AA) Une majorité des autres contacts de l'espèce ont des **indices de confiance proches**

AAA) L'espèce n'est pas rare = **vous validez tous les contacts de l'espèce**

AAB) L'espèce est éventuellement rare = vous vérifiez au moins **3 contacts supplémentaires** de façon à ne pas surévaluer le nombre des contacts pour cette espèce.

AABA) Aucune erreur n'est constatée = **vous validez tous les contacts de l'espèce**

AABB) Des erreurs sont constatées = **vérifiez minimum une douzaine de contacts** de façon à estimer correctement le nombre de contacts de l'espèce

AB) Une majorité des autres contacts de l'espèce ont des indices de confiance nettement plus faibles = vous vérifiez au moins **2 autres contacts à faible indice de confiance**

ABA) Il n'y a pas d'erreur constatée = **vous validez tous les contacts de l'espèce**

ABB) Des erreurs sont constatées = vous vérifiez quelques autres contacts jusqu'à établir à partir de quel indice les identifications sont bonnes = vous validez tous les contacts au-dessus de ce seuil, et vous traitez les autres contacts selon le cas B

B) L'identification est fausse : **vous vérifiez au moins 3 autres contacts**

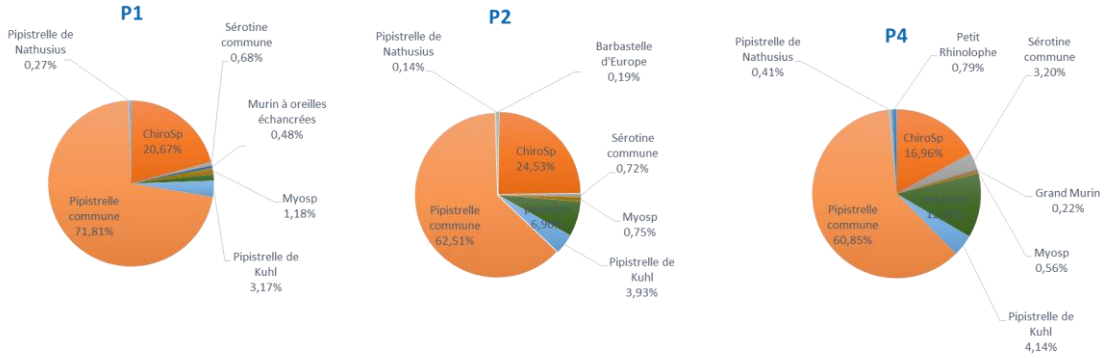
BA) L'erreur est systématiquement vers une autre espèce (ou parasite) = **vous corrigez tous les contacts** de l'espèce identifiée automatiquement vers l'espèce « constatée »

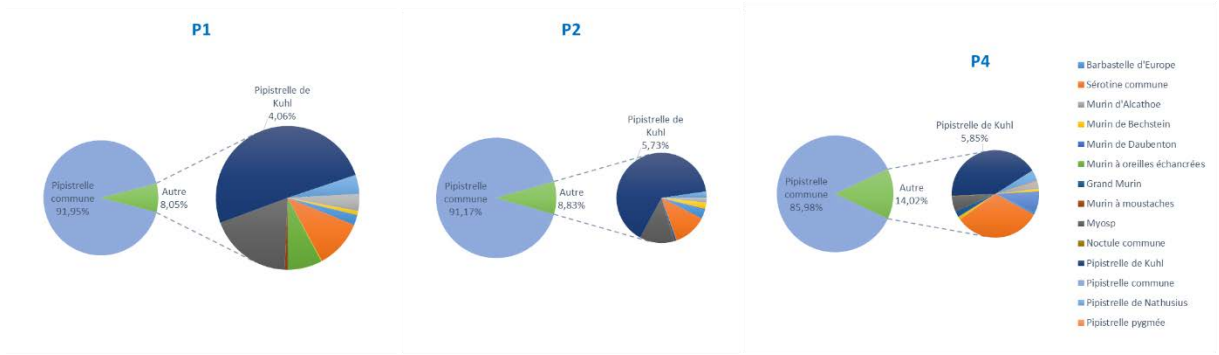
BB) Les contacts vérifiés ne concernent pas systématiquement la même espèce = vous vérifiez au moins **6 contacts supplémentaires** de façon à estimer la part de chaque espèce

Annexe 8 : Coefficient de détectabilité et distance de détection des différentes espèces de chiroptères en milieux ouverts (Barataud, 2012 (1))

milieux ouvert et semi ouvert			
Intensité d'émission	Espèces	distance détection	coefficient détectabilité
faible	*Rhinolophus hipposideros*	5	5,00
	Rhinolophus ferr/eur/meh.	10	2,50
	Myotis emarginatus	10	2,50
	Myotis alcathoe	10	2,50
	Myotis mystacinus	10	2,50
	Myotis brandtii	10	2,50
	Myotis daubentonii	15	1,70
	Myotis nattereri	15	1,70
	Myotis bechsteinii	15	1,70
	Barbastella barbastellus	15	1,70
moyenne	*Myotis oxygnathus*	20	1,20
	Myotis myotis	20	1,20
	Plecotus spp	20	1,20
	Pipistrellus pygmaeus	25	1,00
	Pipistrellus pipistrellus	25	1,00
	Pipistrellus kuhlii	25	1,00
	Pipistrellus nathusii	25	1,00
	Miniopterus schreibersii	25	1,00
forte	*Hypsugo savii*	40	0,71
	Eptesicus serotinus	40	0,71
très forte	*Eptesicus nilssonii*	50	0,50
	Vespertilio murinus	50	0,50
	Nyctalus leisleri	80	0,31
	Nyctalus noctula	100	0,25
	Tadarida teniotis	150	0,17
	Nyctalus lasiopterus	150	0,17

Annexe 9 : Diversité des chiroptères en Basse-Normandie (a) Diagramme de l'abondance relative des principales identifications obtenues, (b) Diagrammes détaillés de l'abondance relative des espèces, (c) tableau récapitulatif des espèces identifiées en Basse-Normandie

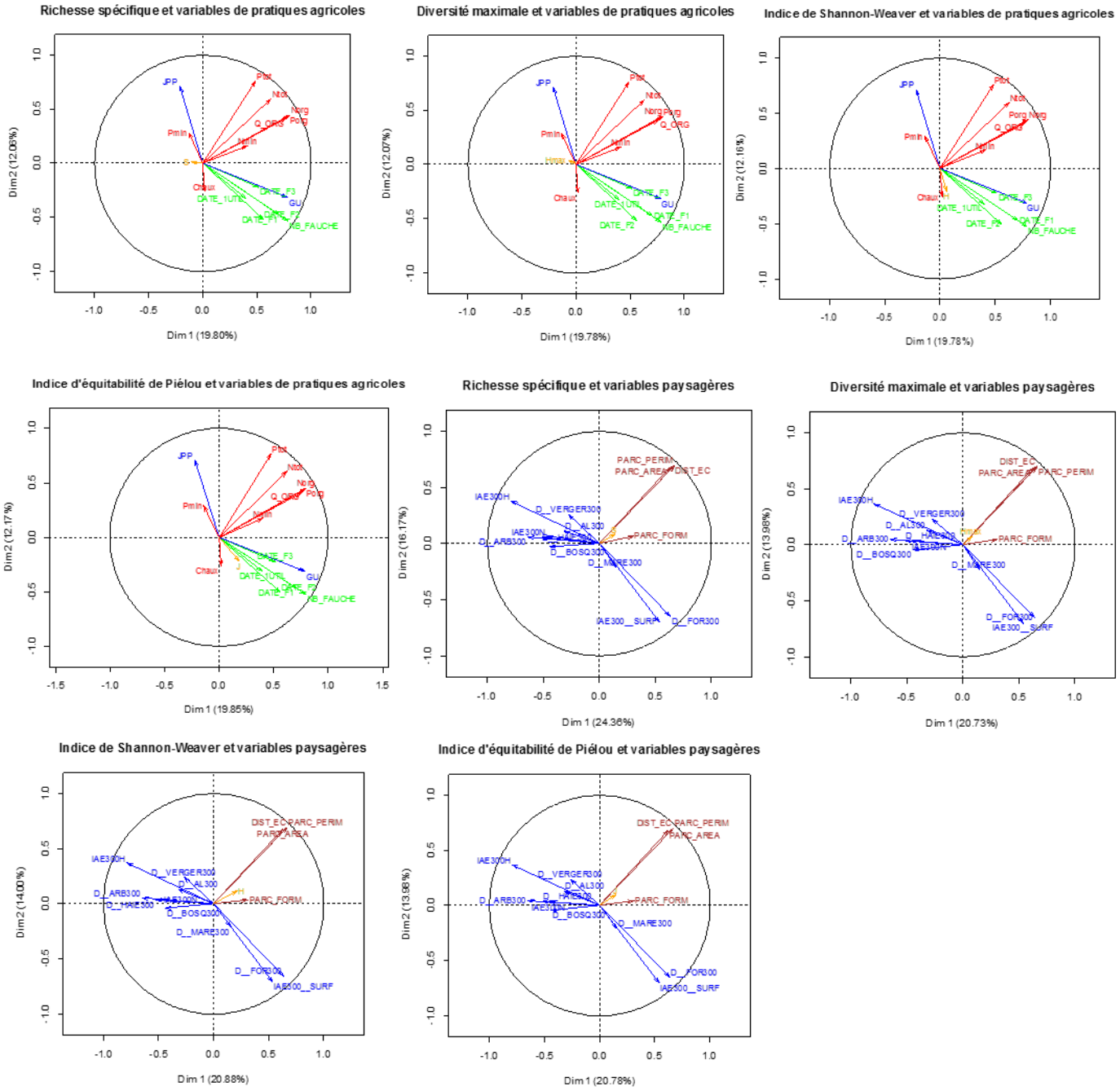




Nom commun	Nom latin	P1	P2	P4	Directive HFF (Habitat-Faune-Flore)	Statut en Basse-Normandie	Statut Liste rouge nationale
Barbastelle d'Europe	*B. barbastellus*	x		x	Annexe II et IV	rare	LC
Sérotine commune	*E. serotinus*	x	x	x	Annexe IV	commune	LC
Murin d'Alcathoe	*M. alcathoe*		x		Annexe IV	peu commun	LC
Murin de Bechstein	*M.bechsteinii*	x		x	Annexe II et IV	peu commun	NT
Murin de Daubenton	*M. daubentonii*	x			Annexe IV	commun	LC
Murin à oreilles échancrées	*M. emarginatus*			x	Annexe II et IV	peu commun	LC
Grand Murin	*M.myotis*		x	x	Annexe II et IV	commun	LC
Murin à moustaches	*M. mystacinus*	x			Annexe IV	commun	LC
Noctule commune	*N. noctula*			x	Annexe IV	rare	NT
Pipistrelle de Kuhl	*P. kuhli*	x	x	x	Annexe IV	peu commune	LC
Pipistrelle de Nathusius	*P. nathusii*	x	x	x	Annexe IV	peu commune	NT
Pipistrelle commune	*P. pipistrellus*	x	x	x	Annexe IV	abondante	LC
Pipistrelle pygmée	*P. pygmaeus*			x	Annexe IV	rare	LC
Oreillards	*Plecotus sp*	x	x	x	Annexe IV	communs	LC
Grand Rhinolophe	*R. ferrumequinum*	x	x	x	Annexe II et IV	peu commun	LC
Petit Rhinolophe	*R. hipposideros*	x	x	x	Annexe II et IV	rare	LC
	Nb espèces	**11**	**9**	**13**	**6**	**4**	**3**

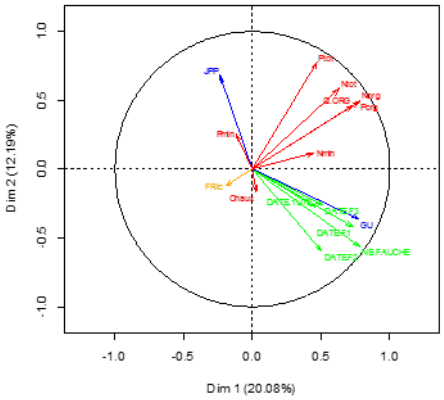
(D'après les données du groupe mammalogique normand, LC : préoccupation mineure, NT : quasi-menacé)

Annexe 10 : Cercles de corrélation entre les variables de pratiques agricoles et paysagères et les indices de diversité taxonomique et fonctionnelle

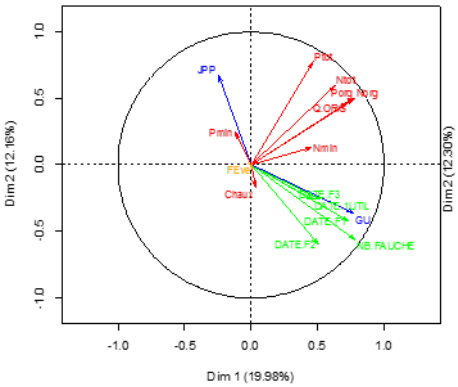


Annexe 10 (suite)

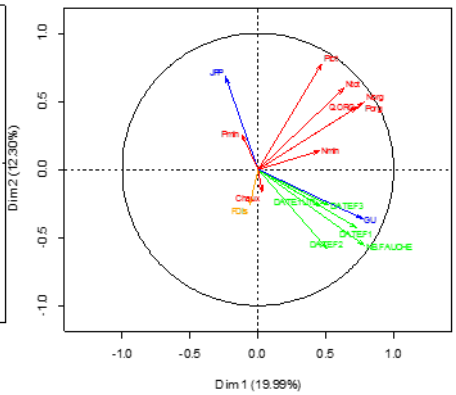
Richesse fonctionnelle et variables de pratiques agricoles



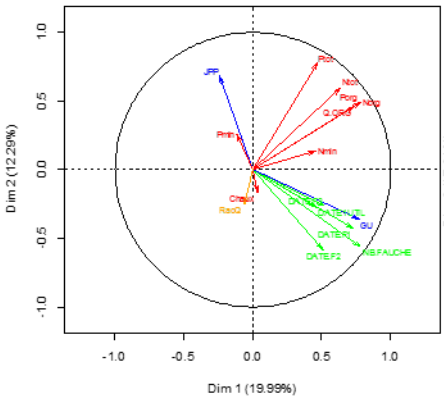
Régularité fonctionnelle et variables de pratiques agricoles



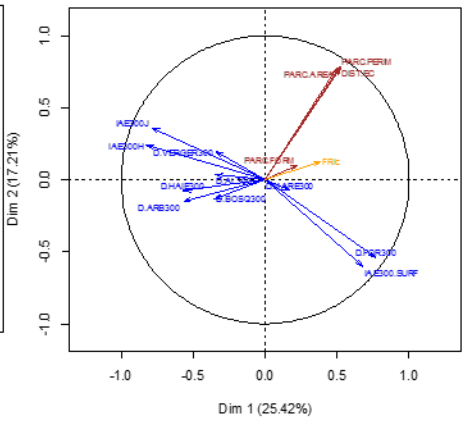
Dispersion fonctionnelle et variables de pratiques agricoles



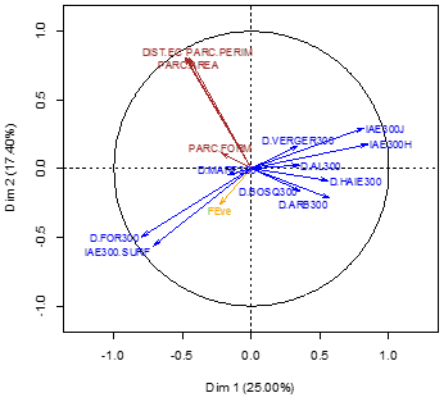
Indice d'entropie quadratique de Rao et variables de pratiques agricoles



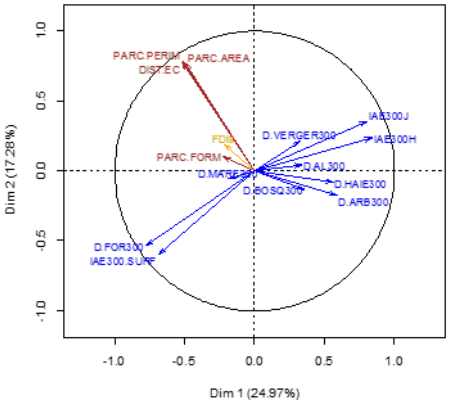
Richesse fonctionnelle et variables paysagères



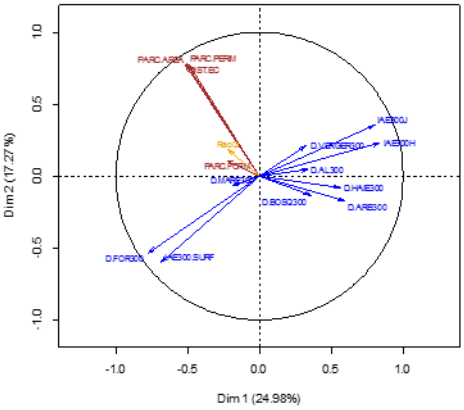
Régularité fonctionnelle et variables paysagères



Dispersion fonctionnelle et variables paysagères



Indice d'entropie quadratique de Rao et variables paysagères



Résumé

Effets des pratiques agricoles et des infrastructures agro-écologiques sur la diversité des chiroptères

L'intensification de l'agriculture et l'homogénéisation des paysages seraient les deux principales causes de déclin des populations de chauves-souris d'Europe. Cette étude a pour objectif de déterminer quelles variables associées aux pratiques agricoles et aux infrastructures agro-écologiques (IAE) influencent fortement la diversité des chauves-souris en prairies. La diversité taxonomique et fonctionnelle a été déterminée à partir d'enregistrements effectués en juin-juillet 2013. Les parcelles, définies selon un gradient d'intensité d'utilisation et de structuration du paysage, sont choisies sur 35 exploitations, sélectionnées dans trois régions distinctes. Une variation saisonnière de la fréquentation des parcelles par les chiroptères a été constatée par rapport aux enregistrements effectués en août-septembre 2012, due à un pic d'activité à cette période. Les mesures de l'activité (nombre de contacts/heure) permettent de hiérarchiser les facteurs influençant cette fréquentation. L'activité des spécialistes pourrait ainsi être déterminée par l'intensité de pâturage, une des variables qui a un effet significatif sur la diversité. Le nombre de fauches et la fertilisation sont également des éléments importants. La présence d'IAE, en particulier la densité de mares, de haies, d'arbres isolés et de forêts, semblent favoriser la diversité des chiroptères.

Mots-clés : chiroptères, pratiques agricoles, infrastructures agro-écologiques, diversité, intensification

Abstract

Effects of agricultural practices and agro-ecological infrastructures on the diversity of bats

Agricultural intensification and landscape oversimplification would be the two major causes of european population bats declines. This study aim to find what variable of agricultural practices and landscape elements (AEI) influence strongly the diversity of bats on meadows. The taxonomic and functional diversity has been established with records sampled between June and July 2013. The plots of land were define along a gradient of land-use intensity and landscape structure and were chosen among 35 farmlands, designated in three different regions. A seasonal variation of plot visiting by bats were reported in comparison with the records taped in August/September 2012, due to a peak of activity during this stage. The bat activity measures (number of bat calls per hour) allow to classify the factors which have an effect on bat visiting. The activity of bat specialists could that way be fixed by the grass use of pasture land, one of the variables which has a significant impact on bat diversity. The frequence of mowing and the fertilization are also powerful elements for diversity. The AEI presence, in particular pond, hedgerow, scattered trees and forest density, seems to promote bat diversity.

Keywords : bats, agricultural practices, landscape infrastructures, diversity, intensification