

Influence de la structure du paysage sur la composition des peuplements de chauves-souris dans les secteurs d'implantation des parcs éoliens du Jura neuchâtelois et nord-vaudois

Autor(en): **Uldry, Valéry / Bohnenstengel, Thierry / Jaberg, Christophe**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **138 (2018)**

PDF erstellt am: **01.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-842072>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INFLUENCE DE LA STRUCTURE DU PAYSAGE SUR LA COMPOSITION DES PEUPELEMENTS DE CHAUVES-SOURIS DANS LES SECTEURS D'IMPLANTATION DES PARCS ÉOLIENS DU JURA NEUCHÂTELOIS ET NORD-VAUDOIS

VALÉRY ULDRY¹, THIERRY BOHNENSTENGEL^{1,2}, CHRISTOPHE JABERG¹

¹Centre de Coordination Ouest pour l'étude et la protection des chauves-souris (CCO), Musée d'histoire naturelle, avenue Léopold-Robert 63, 2300 La Chaux-de-Fonds

²Centre Suisse de Cartographie de la Faune (CSCF), passage Maximilien de Meuron 6, 2000 Neuchâtel

Mots-clés : bioacoustique, Chiroptera, conservation, énergie éolienne, écologie des communautés

Keywords : bats, bioacoustics, Chiroptera, conservation, landscape structure, species assemblage, wind farm

Résumé

Le développement des énergies renouvelables est souvent présenté comme le moyen de concilier les besoins énergétiques de l'humanité avec les impératifs de conservation de la nature. Malgré des bénéfices climatiques évidents, des effets négatifs peuvent néanmoins s'observer sur la biodiversité. Dans la chaîne du Jura par exemple, le développement récent de l'énergie éolienne est susceptible d'avoir un impact négatif sur les chauves-souris. Dans ce travail, nous avons étudié l'influence de la structure du paysage sur la composition des peuplements de chiroptères, afin de pouvoir évaluer le degré de menace qu'elles encourent sur les secteurs d'implantation et de pouvoir fournir des recommandations pour la planification de nouveaux parcs éoliens. Des relevés acoustiques ont été réalisés sur 14 sites et leur composition spécifique a été décrite au moyen d'AFC. L'influence des descripteurs paysagers sur les peuplements a été testée par des ACC.

Près de 20 % des contacts appartenaient à des espèces classées « vulnérables » en Suisse (*Eptesicus nilssonii*, *E. serotinus* et *Vespertilio murinus*). De plus, ces espèces étaient étroitement liées aux secteurs de crêtes, suggérant qu'elles puissent être sévèrement affectées par les installations éoliennes. Nous avons également constaté que l'activité des *Myotis sp.*, dont la plupart sont également considérés comme vulnérables, augmentait en automne sur les crêtes. Finalement, parmi les sites sommitaux, l'activité variait considérablement et certains, avec plus de 20 contacts par heure, présentaient clairement une activité plus élevée que les sites de plaine. Ce constat met en évidence l'hétérogénéité des ressources disponibles et suggère que les zones de crêtes, dont les paysages sont encore souvent proches de l'état naturel, peuvent offrir davantage de ressources que les secteurs de plaine. Ces résultats montrent la nécessité d'intégrer des suivis de l'utilisation de l'espace par les chiroptères dans les processus de sélection des nouveaux sites

éoliens. Finalement, cette étude fournit un nouvel exemple de contribution de l'écologie appliquée à la problématique de la gestion des ressources énergétiques.

Abstract

Sustainable energy sources often reconcile human energy requirements with long-term conservational efforts. Despite their clear climate benefits, negative effects on animal populations may occur. Here we investigate spatial territory use in a bat community with particular focus on preferences related to landscape factors, with the aim to provide guidelines for the construction of future wind farms in the Swiss Jura Mountains. Acoustic surveys were conducted on 14 sample sites located within or near scheduled wind farms areas. Site-specific bat associations were described through correspondence analysis (CA) and the landscape influence on these species assemblages was tested with canonical correspondence analysis (CCA). Almost 20 % of all recordings were related to species that are declared "vulnerable" in Switzerland (*Eptesicus nilssonii*, *E. serotinus* and *Vespertilio murinus*). More important, these species were predominantly detected in summit sites, suggesting that they would be affected disproportionately higher by constructed wind farms than other bat species. Moreover, we found seasonal changes in habitat use for several *Myotis* species (most *Myotis* species are also classified as "vulnerable"). Specifically, *Myotis sp.* showed increased territory use for summit sites during autumn. Within summit sites, some areas were visited more intensively than others and more intensively than lowland sites, additionally indicating heterogeneity in site-specific resource availability. The present results emphasise the necessity of systematic surveys of habitat use in bats already in the planning phase of wind park construction to minimize negative impacts on established species communities. Furthermore the study presented here gives another example of how applied ecology could contribute to future energy source management.

Zusammenfassung

Formen nachhaltiger Energiegewinnung bieten oftmals das Potenzial, menschliche Energiebedürfnisse mit dem Erhalt von Lebensräumen zu vereinen. Trotz ihrer unstrittigen klimatischen Vorteile können potentielle negative Effekte von Anlagen nachhaltiger Energiegewinnung auf bestehende Tiergemeinschaften erscheinen. Die vorliegende Studie untersucht die Lebensraumnutzung von Fledermaus-Assoziationen mit Schwerpunkt auf mögliche Präferenzen, welche aus der Landschaftsbeschaffenheit resultieren. Empirische Ergebnisse könnten demnach direkt in die Planung zukünftiger Windanlagen-Standorte im Schweizer Jura einfließen. Fledermausarten wurden akustisch erfasst an 14 Standorten innerhalb oder nahe geplanter Windkraftanlagen. Standort-spezifische Assoziationen werden beschrieben mittels „correspondence analysis“ (CA). Der Einfluss der Landschaftsbeschaffenheit auf diese Assoziationen wurde getestet mittels „canonical correspondence analysis“ (CCA). Nahezu 20 % aller erfassten akustischen Nachweise konnten Fledermausarten zugeordnet werden, die in der Schweiz als „gefährdet“ eingestuft sind (*Eptesicus nilssonii*, *E. serotinus* und *Vespertilio murinus*). Vorwiegend wurden diese Arten an Gipfel-Standorten nachgewiesen. Dies lässt vermuten, dass jene Arten überproportional beeinträchtigt würden durch den Bau von Windkraftanlagen als andere Fledermausarten. Wir konnten darüber hinaus saisonale Schwankungen der Habitatnutzung für *Myotis*-Arten im Untersuchungsgebiet nachweisen. *Myotis sp.* wies eine erhöhte Nutzung für Gipfelstandorte während des Herbstes auf. Einzelne Gipfelstandorte unterschieden sich zudem hinsichtlich ihrer Nutzung durch Fledermäuse, voraussichtlich eine Konsequenz aus unterschiedlicher Ressourcen-Verfügbarkeit. Die vorliegenden Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit systematischer Erfassungen der Lebensraumnutzung durch Fledermäuse bereits in der Planungsphase von Windkraftanlagen, um negative Auswirkungen auf bestehende Artgemeinschaften zu minimieren. Darüber hinaus bietet unsere Studie ein weiteres Beispiel dafür, welchen Beitrag angewandte Ökologie leisten kann innerhalb zukünftigen Energiequellen-managements.

INTRODUCTION

Dans les représentations collectives, l'essor récent des énergies renouvelables tend souvent à apaiser le dilemme de la protection de l'environnement face aux besoins énergétiques grandissants de l'humanité. Si la neutralité carbone de ces modes de production offre des avantages climatiques évidents, des impacts négatifs peuvent également survenir, notamment sur la biodiversité (WELLIG, 2013). Les installations éoliennes en particulier peuvent être à l'origine d'une mortalité accrue pour les oiseaux et les chauves-souris qui entrent en collision avec les pales durant leurs déplacements (KUVLESKY *et al.*, 2007; LEUZINGER *et al.*, 2008; RYDELL *et al.*, 2010). Cette mortalité, même faible, peut avoir des effets catastrophiques sur la dynamique de leurs populations, notamment si la fécondité annuelle de ces espèces est faible (SÆTHER & BAKKE, 2000; WELLIG, 2013) (souvent inférieure à 1 chez les chiroptères; SCHAUB *et al.*, 2007) et vient s'ajouter à d'autres causes de mortalité déjà existantes (ARLETTAZ, 2016). D'autre part, l'installation d'une infrastructure industrielle dans des milieux naturels peut entraîner une réduction des ressources disponibles pour ces espèces (surface et connectivité des habitats, diversité et abondance des ressources alimentaires) (BRAUNISCH *et al.*, 2015). Dans la chaîne du Jura, cette problématique est soudainement devenue brûlante puisque plusieurs parcs éoliens sont en passe de voir le jour dans des secteurs occupés par des peuplements de chiroptères encore relativement intacts et peu affectés par les activités humaines.

Les communautés de chiroptères ont souvent été représentées comme des assemblages compacts d'espèces peu différenciées morphologiquement et écologiquement, exploitant en syntopie et de manière opportuniste des ressources trophiques localement et temporairement illimitées (ALDRIDGE & RAUTENBACH, 1987; FINDLEY, 1993). Cette vision non déterministe rendait particulièrement hasardeuse

l'interprétation des structures observées au sein des communautés. Récemment, plusieurs études pointues ont cependant montré que les espèces occupent plus vraisemblablement des niches clairement définies, résultant d'une histoire évolutive propre à chacune et ayant conduit à des niveaux de spécialisation relativement élevés (ARLETTAZ *et al.*, 1997; ARLETTAZ, 1999; SIEMERS & SWIFT, 2006; ASHRAFI *et al.*, 2011). Dans la plupart des cas, la ségrégation des niches résulterait d'une exploitation différenciée de l'espace et d'une sélection de l'habitat propre aux espèces (ARLETTAZ, 1999). À l'échelle du paysage, l'utilisation de l'espace par les chauves-souris est généralement dictée par la distribution de ressources telles que gîtes diurnes, de mise bas, de swarming ou d'hibernation, territoires de chasse, routes de vol et voies de migration (JABERG & GUIBAN, 2001). L'utilisation de ces ressources varie au cours du temps et selon le cycle biologique des espèces (BOHNENSTENGEL *et al.*, 2014), les contraignant souvent à occuper des domaines vitaux très étendus. La compréhension des relations existant entre ces ressources paysagères et la distribution des espèces est primordiale pour la biologie de la conservation (FERRIER *et al.*, 2004). Elle permet d'anticiper les effets des changements environnementaux ou des activités humaines sur la dynamique des populations (PEREIRA & COOPER, 2006), de prédire la distribution potentielle des espèces sur la base de caractéristiques paysagères (GUIBAN & ZIMMERMANN, 2000) ou de mettre en évidence des zones à valeur biologique élevée (COWLEY *et al.*, 2000).

Cette étude a donc pour objectif de déterminer, via une méthode acoustique, la composition des peuplements de chiroptères sur les secteurs où est projetée l'implantation de parcs éoliens. L'identification des facteurs paysagers influençant la structure des peuplements permettra de mieux comprendre l'utilisation du territoire par les différentes espèces et d'évaluer le degré de menace qu'elles encourent sur les secteurs d'implantation. Elle

permettra également de fournir des recommandations pour la planification de nouveaux parcs éoliens. Le protocole standardisé des relevés au carré kilométrique utilisé ici permet d'évaluer d'une façon fiable et reproductible la composition des peuplements chiroptérologiques d'un secteur, grâce à l'intensité de l'activité acoustique des espèces ou groupes d'espèces détectés durant leurs chasses ou leurs déplacements.

MÉTHODE

Détection acoustique

Le principe de cette méthode est d'interpréter chaque séquence d'ultrasons émis par une chauve-souris en vol pour déterminer l'espèce présente à un moment et à un endroit donnés. En effet, chaque espèce ou groupe d'espèces possède certaines caractéristiques acoustiques qui lui sont propres (bande de fréquences, modulation, durée, rythme). La méthode acoustique ne permet cependant pas de comptabiliser un nombre d'individus, mais renseigne sur l'intensité de l'activité des chauves-souris; on parle alors d'indice d'activité. Cet indice peut être élevé à un endroit donné si plusieurs individus y passent successivement de même que si un seul individu y chasse continuellement. Cet indice est également à interpréter différemment selon les espèces ou groupes d'espèces en raison de leur détectabilité. La portée des cris émis

varie effectivement selon les espèces (tabl. 1), rendant impossible une comparaison interspécifique des indices d'activité, mais permettant cependant une comparaison entre différents relevés.

Dans le protocole décrit ci-après, les observations sont faites uniquement à partir du sol. Ces relevés concernent donc principalement l'activité chiroptérologique comprise dans les 50 premiers mètres au-dessus du sol, selon la détectabilité des espèces. Les chiroptères évoluant à plus haute altitude ne sont ainsi pas toujours inventoriés. Même si dans le contexte éolien le risque de mortalité se situe, en fonction des modèles, au-dessus de 50 m, ces relevés au sol permettent d'appréhender facilement une part importante du peuplement de chiroptères utilisant un secteur donné (WELLIG *et al.*, 2013).

Protocole de relevé acoustique

Le protocole appliqué pour les relevés acoustiques est celui qui a été développé dans le cadre de la réactualisation de la Liste rouge des chiroptères de Suisse (BOHNENSTENGEL *et al.*, 2014). Pour chaque site inventorié, 10 points d'écoute distants d'au moins 150 m ont été sélectionnés dans un carré d'1 km². Les mêmes points d'écoute seront repris pour chacun des relevés. Chaque parcours est inventorié quatre fois entre le 20 mai et le 20 septembre: 2 fois durant la période

Groupes d'espèces	Espèces concernées	Intensité sonore
Nyctaloïdes	<i>Nyctalus sp.</i> , <i>Eptesicus sp.</i> , <i>Vespertilio murinus</i>	Forte
Pipistrelloïdes	<i>Pipistrellus sp.</i> , <i>Miniopterus schreibersii</i> , <i>Hypsugo savii</i>	Moyenne
Myotisoïdes	<i>Myotis sp.</i> , <i>Plecotus sp.</i> , <i>Barbastella barbastellus</i>	Faible
Rhinolophoïdes	<i>Rhinolophus sp.</i>	Très faible

Tableau 1. Groupes d'espèces classées selon leurs caractéristiques acoustiques.

La détectabilité des espèces est directement proportionnelle à l'intensité sonore de leurs ultrasons.

d'élevage (du 20 mai au 31 juillet) et 2 fois durant la période de dispersion (du 1^{er} août au 20 septembre). Deux relevés doivent être espacés d'au moins 15 jours. Aucun relevé ne doit être effectué lors de nuits de fort vent, forte pluie ou basse température (inférieure à 8 °C). L'ordre de passage à chaque point d'écoute est changé d'un relevé à l'autre afin de limiter le biais dû à l'influence de l'heure sur l'activité des chiroptères. Les relevés débutent 20 minutes après le coucher du soleil, plus tôt en cas de temps couvert. À chaque point d'écoute, la présence et l'activité des chauves-souris sont notées toutes les minutes pendant 15 minutes à l'aide d'un détecteur d'ultrason à déclenchement manuel et expansion de temps (D240x, Pettersson Elektronik AB, Suède) couplé à un enregistreur numérique (H2 Handy Recorder, Zoom, Japon). Les espèces ou groupes d'espèces sont déterminés autant que possible sur le terrain selon la méthode dite naturaliste proposée par BARATAUD (2012). Chaque contact dont la détermination n'est pas possible en direct est enregistré pour une identification ultérieure. Une preuve de présence de chaque espèce contactée est également enregistrée. L'analyse des enregistrements est effectuée dans le programme BatSound© 3.31 (Pettersson Elektronik AB) selon la méthode décrite par BARATAUD (2012). Les séquences sont déterminées à l'espèce, au genre ou au groupe d'«espèces acoustiques» en fonction des possibilités d'identification.

Échantillonnage des sites

Dans le cadre de ce projet, huit sites d'1 km² (fig. 1, carrés bleus) ont été sélectionnés de manière aléatoire stratifiée afin d'obtenir un échantillonnage équilibré de chaque ligne de crêtes (1^{er} et 2^e anticlinal, altitude > 1 000 m) et de chaque projet éolien. À cela, 6 sites (fig. 1, carrés orange) relevés durant le projet de réactualisation de la Liste rouge des chiroptères de Suisse (sites LR) (BOHNENSTENGEL *et al.*, 2014) ont été ajoutés, afin d'augmenter

l'information sur l'activité des chauves-souris en altitude. Deux des sites LR sont situés sur le plateau et permettent une comparaison avec les zones de plaine.

La description sommaire des quatorze sites figure dans le tableau 2. Les sites sont couverts principalement par des prairies de fauche et des pâturages (environ 70 %), ainsi que par des hêtraies à sapin ou à érables, souvent fortement enrésinées (épicéas) (environ 28 %). Le reste est composé de pâturages boisés, zones urbaines ou falaises.

Analyse des données

Afin de catégoriser les 14 sites de relevés acoustiques, nous les avons décrits par 20 descripteurs environnementaux (tabl. 3), résumés en 3 composantes paysagères à l'aide d'une ACP (analyse des composantes principales, JONGMAN *et al.*, 1987). Afin de visualiser leurs ressemblances, les 14 sites ont été ordonnés dans l'espace réduit des 3 premières composantes (les 3 premiers axes extraits de cette ACP).

La structure des peuplements de chiroptères a été décrite au moyen d'AFC (analyses factorielles des correspondances). L'AFC permet de visualiser les correspondances entre les espèces et les différents sites où elles ont été relevées acoustiquement. Elle permet également de mettre en évidence les ressemblances entre sites ou entre espèces : deux sites présentant une composition spécifique similaire sont projetés proches l'un de l'autre dans le diagramme d'ordination ; de même, deux espèces détectées dans les mêmes sites se situeront à faible distance l'une de l'autre dans le diagramme d'ordination (JONGMAN *et al.*, 1987). Afin de visualiser les structures fondamentales du peuplement (et non les exceptions), les espèces rares (fréquence absolue inférieure à 3 sites occupés) ont été retirées des analyses. Il s'agit de *Barbastella barbastellus*, *Myotis brandtii*, *Myotis emarginatus*, *Myotis blythii*, *Pipistrellus kuhlii*, *Pipistrellus pygmaeus*. Afin de faire apparaître

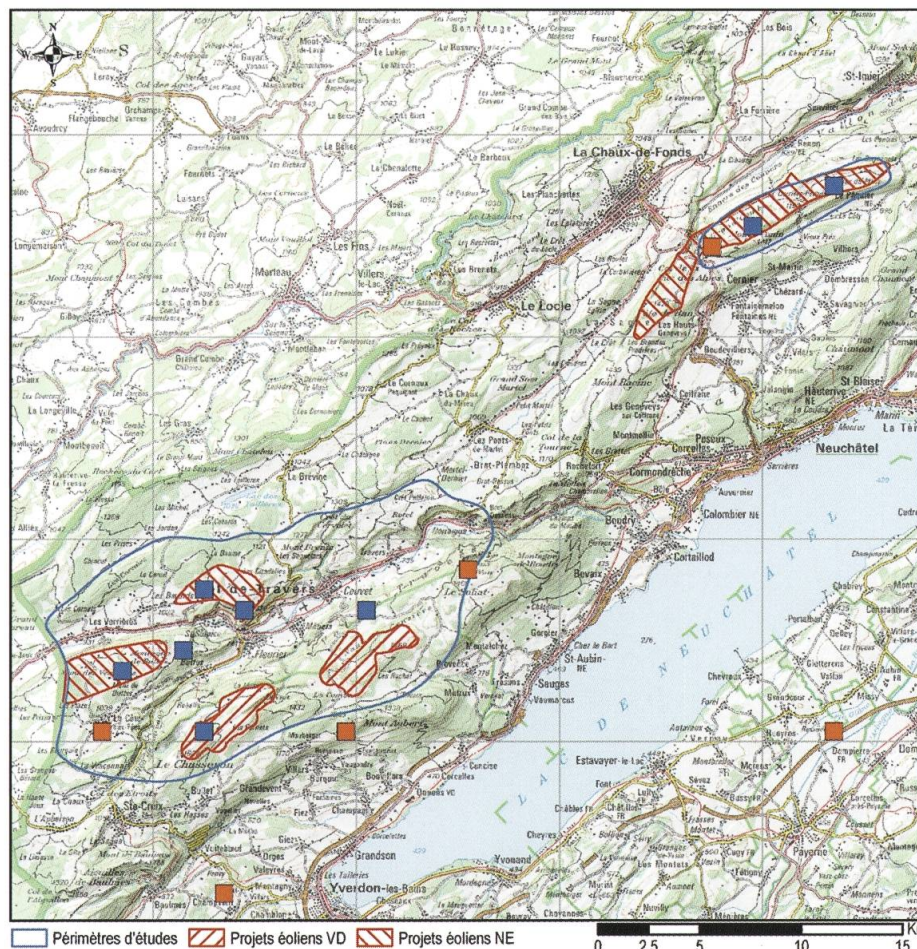


Figure 1. Distribution des sites de relevé acoustique.

En bleu : sites relevés dans le cadre de la présente étude. En orange : sites relevés dans le cadre du projet de réactualisation de la Liste rouge des chauves-souris de Suisse (2007-2011).

les structures des peuplements plus clairement, nous avons également procédé à des analyses distinctes selon les périodes du cycle biologique des chauves-souris (élevage *vs* dispersion). Les espèces *Myotis nattereri*, *Myotis bechsteinii*, *Myotis daubentonii*, *Miniopterus schreibersii*, *Nyctalus noctula* et le groupe des pipistrelloïdes ne sont ainsi pas toujours pris en compte en raison de leurs faibles occurrences.

Enfin, afin de visualiser et de quantifier la part de variation des peuplements qui est directement due aux descripteurs environnementaux choisis et de tester statistiquement la validité de cette relation «espèces

– environnement», des analyses canoniques des correspondances (ACC) ont été utilisées (TER BRAAK, 1986). Les variables explicatives ont été introduites «pas à pas» dans les modèles («forward selection of variables»). Seules les variables expliquant une part significative ($p < 0,1$) des données ont été retenues dans l'analyse finale.

Toutes les ordinations ont été réalisées à l'aide du programme CANOCO version 3.12 (TER BRAAK, 1996). Les données spatiales ont été analysées et représentées à l'aide du logiciel ArcMap 10.2.2 (ESRI, Redlands, États-Unis).

Sites	Carré km	Topographie - Exposition	Altitude moyenne	Zone agricole	Forêt	Milieux particuliers
Les Fourneaux	528 193	2 ^e crête - Ouest	1 203 m	80 %	20 %	
Mont-de-Buttes	531 194	2 ^e crête - Ouest	1 157 m	60 %	40 %	
Grandsonnaz	532 190	1 ^{re} crête	1 422 m	55 %	45 %	
Les Bayards	532 197	2 ^e crête	1 100 m	95 %	5 %	
Mont de Boveresse	534 196	2 ^e crête	1 079 m	40 %	50 %	10 % en pâturage boisé
Les Plânes	540 196	1 ^{re} crête - Nord	1 097 m	80 %	20 %	
Gurnigel	559 215	2 ^e crête - Est	1 335 m	70 %	10 %	20 % en pâturage boisé
Joux-du-Plâne	563 217	2 ^e crête - Est	1 174 m	95 %	5 %	
La Côte-aux-Fées	527 190	2 ^e crête - Ouest	1 026 m	80 %	10 %	10 % en zone urbaine
Champvent	533 182	Plaine	520 m	85 %	15 %	
Fontanezier	539 190	1 ^{re} crête - Sud	1 197 m	20 %	80 %	
Provence	545 198	1 ^{re} crête	1 281 m	35 %	50 %	10 % en pâturage boisé et 5 % en falaise
Mont Perreux	557 214	2 ^e crête - Est	1 288 m	65 %	30 %	5 % en pâturage boisé
Corcelles-Payerne	563 190	Plaine	440 m	100 %		

Tableau 2. Description des 14 sites kilométrique inventoriés.

RÉSULTATS

Description des sites

La première composante paysagère extraite de l'ACP (axe 1) traduit en premier lieu le gradient altitudinal (donc thermique) et le recouvrement forestier; la seconde (axe 2) révèle la présence d'habitats particuliers, habituellement absents des zones de crêtes (eaux stagnantes et marais, zones construites) et exposés au SO (rupture géomorphologique par rapport à l'orientation habituelle NE-SO des anticlinaux étudiés); la troisième composante (axe 3) traduit un relief accidenté (éboulis et falaises) exposé au NE (rupture géomorphologique) (tabl. 3, fig. 2).

En raison d'une sélection orientée en fonction de l'implantation prévue des parcs éoliens

sur les crêtes, les sites sont assez homogènes. On signalera cependant quelques sites particuliers; les sites de Provence, Fontanezier et Grandsonnaz représentent en effet des sites plus « montagnards » (altitude élevée, forte pente, couverture forestière importante, éloignement des villages et des points d'eau). À l'inverse, les sites de Corcelles-Payerne et Champvent sont clairement des sites « de plaine » (niveau thermique élevé, éloignés de forêt, en zones ouvertes et avec rivière). Le site de La Côte-aux-Fées, bien qu'en altitude, se rapproche, lui, de Corcelles-Payerne en raison de sa situation sur un petit plateau agricole ouvert, à proximité directe d'un village et d'eaux stagnantes (retenue artificielle), traits plutôt typiques de milieux de plaine. Les autres sites, par contre, ne se différencient pas véritablement les uns des

Descripteur (avec unité)	AXE 1 31,8 %	AXE 2 17,7 %	AXE 3 14,6 %
Zones ouvertes (% de la surface)	-1,4225	-0,2788	-0,1063
Niveau thermique (1, froid, à 12, chaud)	-1,314	-0,8762	0,4276
Distance moyenne aux forêts (m)	-1,2414	-1,2692	1,0289
Rivières (% de la surface)	-0,9057	-1,4044	1,0744
Zones construites (% de la surface)	-0,7352	1,8878	0,994
Eaux stagnantes (% de la surface)	-0,7352	1,8878	0,994
Marais (% de la surface)	-0,7352	1,8878	0,994
Exposition SO (binaire)	-0,405	1,3429	-0,0646
Exposition NO (binaire)	-0,1339	-0,1832	-0,459
Exposition SE (binaire)	0,2101	-0,3158	-1,2087
Exposition NE (binaire)	0,3117	-1,0844	1,7749
Pâturage boisé (% de la surface)	0,3997	-0,1307	-0,6893
Distance moyenne aux villages (m)	0,9844	-0,6964	-0,4963
Zones buissonnantes (% de la surface)	1,0282	0,0379	0,8845
Éboulis (% de la surface)	1,0922	-0,2482	1,832
Falaises (% de la surface)	1,1379	-0,2375	1,7489
Forêts (% de la surface)	1,2808	0,1874	0,075
Distance à une surface d'eau libre (m)	1,2984	0,0318	-0,3679
Altitude (m)	1,3185	1,036	-0,7124
Pente moyenne (%)	1,485	0,1915	1,1118

Tableau 3. Contribution des 20 descripteurs environnementaux aux 3 composantes principales décrivant les 14 sites de relevé acoustique (scores des descripteurs sur les axes 1 à 3 de l'ACP). Le pourcentage de variation des données absorbé par chaque axe figure en tête de colonne.

autres selon les paramètres environnementaux choisis.

Structure des peuplements de chiroptères

En moyenne, 68,0% des contacts détectés appartiennent au groupe des pipistrelloïdes, composé d'au moins 91,6% de la pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*).

Le reste des espèces du groupe des pipistrelloïdes est composé de la pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) avec 2,0% des contacts, du minioptère de Schreibers (*Miniopterus schreibersii*), de la pipistrelle pygmée (*Pipistrellus pygmaeus*) et de la pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) représentés par quelques contacts seulement. Le groupe des nyctaloïdes représente lui 19,5%

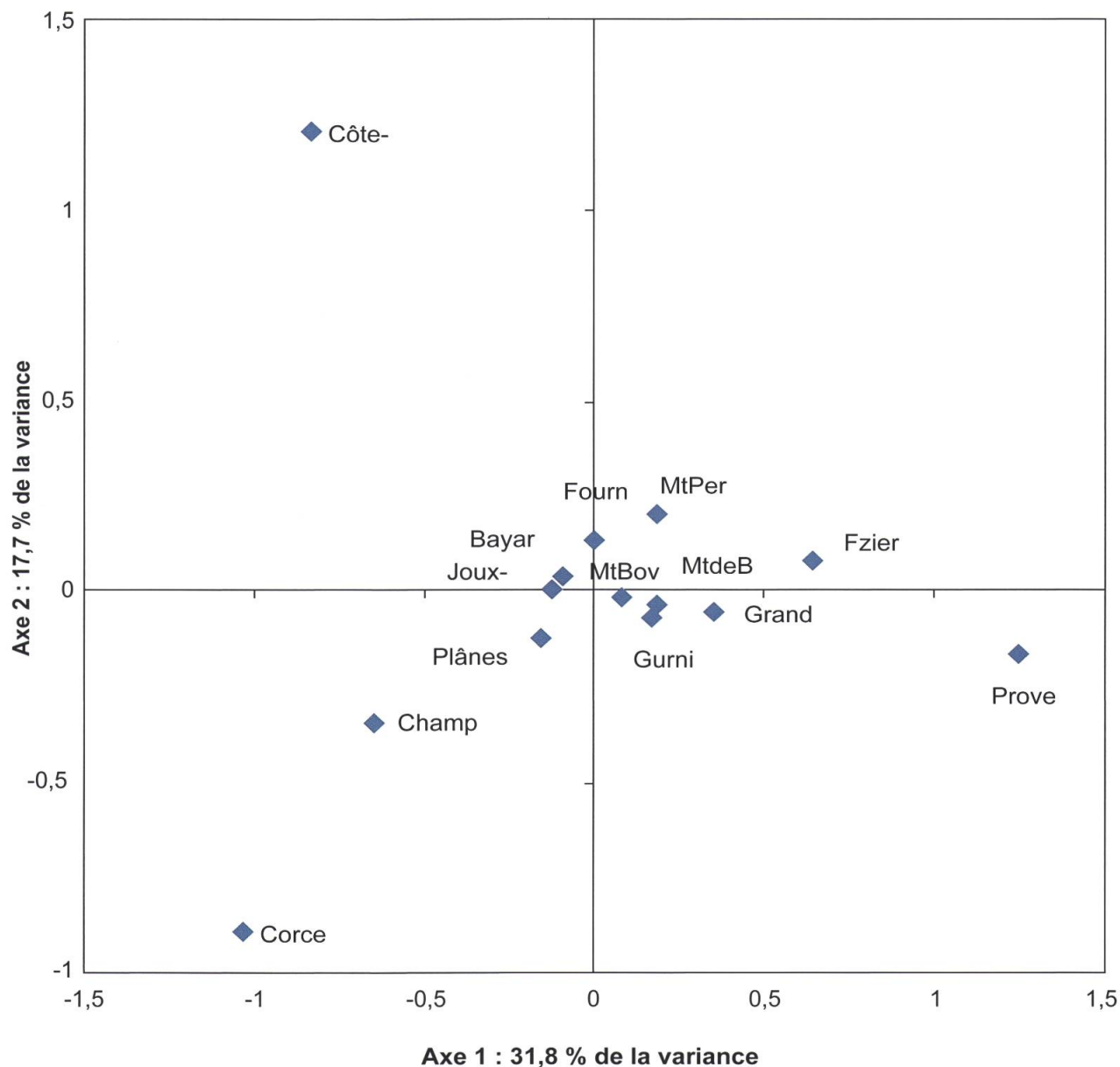


Figure 2. Position de 14 sites étudiés par rapport aux deux premières composantes principales (axes 1 et 2).

des contacts au total. Dans ce groupe, 41,9% des contacts n'ont malheureusement pas pu être déterminés à l'espèce. La sérotine boréale (*Eptesicus nilssonii*) ressort néanmoins du groupe avec 31,8% des déterminations, suivie de la sérotine commune (*Eptesicus serotinus*) avec 13,9% des contacts identifiés. On trouve ensuite la sérotine bicolore (*Vespertilio murinus*) et les noctules (genre *Nyctalus* sp.) avec respectivement 6,7% et 5,7% des contacts. Le groupe des myotisoïdes

représente finalement 12,1% des contacts au total. Ici aussi, 71,5% des contacts n'ont pu être identifiés en raison de la très grande similitude des ultrasons que l'on observe chez les différentes espèces de murins (*Myotis* sp.). On notera néanmoins la présence de 12,9% d'oreillards (*Plecotus* sp.), très certainement l'oreillard roux (*Plecotus auritus*). La barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*) et 8 espèces de murins (*Myotis* sp.) ne sont observées que ponctuellement, avec

un maximum de 10 contacts pour le murin à moustaches (*Myotis mystacinus*). Enfin, 0,3 % des contacts n'ont pu être affiliés avec certitude à un groupe. Le groupe des rhinolophoïdes n'a pas été observé. L'annexe 1 présente l'ensemble des données brutes, alors que le tableau 4 résume ces données pour les espèces principales.

L'AFC réalisée sur l'ensemble des données révèle un gradient peu marqué (valeur

propre de l'axe 1 faible, 0,164) avec 6 sites caractérisés plutôt par les nyctaloïdes, ainsi que par quelques espèces rares (*Myotis nattereri* et *Miniopterus schreibersii*) (Provence, La Côte-aux-Fées, Gurnigel, Joux-du-Plâne, Les Plânes, Grandsonnaz) et 6 sites (Mont de Boveresse, Fontanezier, Corcelles-Payerne, Champvent, Les Fourneaux, Les Bayards) qui accueillent les *Myotis sp.* Au centre, on trouve deux sites (Mont Perreux et Mont-de-Buttes) caractérisés par des espèces

Groupe d'espèces	Espèces et groupes d'espèces	Nombre de contacts	Pourcentage dans le groupe	Pourcentage total
Pipistrelloïdes	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	1 284	91,6	62,4
	<i>Pipistrellus nathusius</i>	28	2,0	1,4
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	7	0,5	0,3
	Autres espèces du groupe	4	0,3	0,2
	Pipistrelloïdes indét.	78	5,6	3,8
	Total groupe	1 401	100	68,0
Nyctaloïdes	<i>Eptesicus nilssonii</i>	128	31,8	6,2
	<i>Eptesicus serotinus</i>	56	13,9	2,7
	<i>Vespertilio murinus</i>	27	6,7	1,3
	<i>Nyctalus leisleri</i>	15	3,7	0,7
	<i>Nyctalus noctula</i>	8	2,0	0,4
	Nyctaloïdes indét.	169	41,9	8,2
	Total groupe	403	100	19,5
Myotisoïdes	<i>Plecotus sp.</i>	32	12,9	1,6
	<i>Barbastella barbastellus</i>	3	1,2	0,1
	<i>Myotis mystacinus</i>	10	4,0	0,5
	Autres espèces du groupe	26	10,4	1,3
	Myotisoïdes indét.	178	71,5	8,6
	Total groupe	246	100	12,1
Chiroptera sp		6	100	0,3

Tableau 4. Résumé des contacts par espèce et groupe d'espèces.

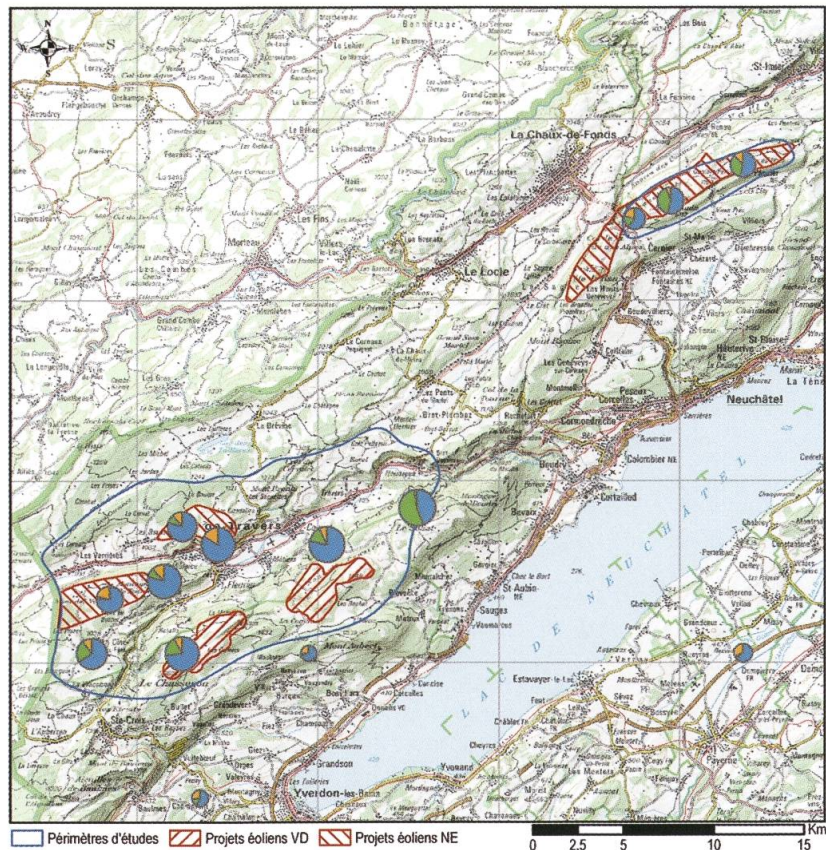


Figure 3. Proportion des groupes d'espèces par sites.

En bleu : pipistrelloïdes. En vert : nyctaloïdes. En orange : myotisoïdes.
La taille des cercles est proportionnelle à l'indice d'activité.

ubiquistes, comme *Pipistrellus pipistrellus* et *Plecotus sp.*

En période d'élevage (fig. 4), un groupe de 6 sites est caractérisé par la présence d'*Eptesicus sp.* et d'autres espèces du groupe des nyctaloïdes (La Côte-aux-Fées, Provence, Gurnigel, Joux-du-Plâne, Les Plânes, Grandsonnaz), alors qu'un autre groupe de 6 sites (Fontanezier, Champvent, Corcelles-Payerne, Mont de Boveresse, Les Fourneaux, Mont-de-Buttes) est reconnaissable à la présence de *Myotis sp.*

En période de dispersion (fig. 5), trois sites (Champvent, Corcelles-Payerne et les Bayards) sont caractérisés par des espèces typiquement migratrices (*Nyctalus leisleri* et *Pipistrellus nathusii*), trois sites (Provence, Gurnigel, Grandsonnaz) sont caractérisés par

Eptesicus sp. et des nyctaloïdes et 7 sites (Les Fourneaux, Mont de Boveresse, Fontanezier, Mont-Perreux, Joux-du-Plâne, Mont-de-Buttes, La Côte-aux-Fées) se distinguent par la présence des *Myotis sp.*

Influence de l'environnement sur les peuplements

Les ACC montrent que le «niveau thermique», «l'éloignement des villages» et la «présence d'habitats particuliers (marais, eaux stagnantes et zones urbaines)» influencent significativement la composition des peuplements détectés sur les sites durant l'ensemble de la saison (test de Monte Carlo sur la somme des valeurs propres canoniques, $F = 1,67$, $p = 0,031$, 1 000 permutations) (tabl. 5).

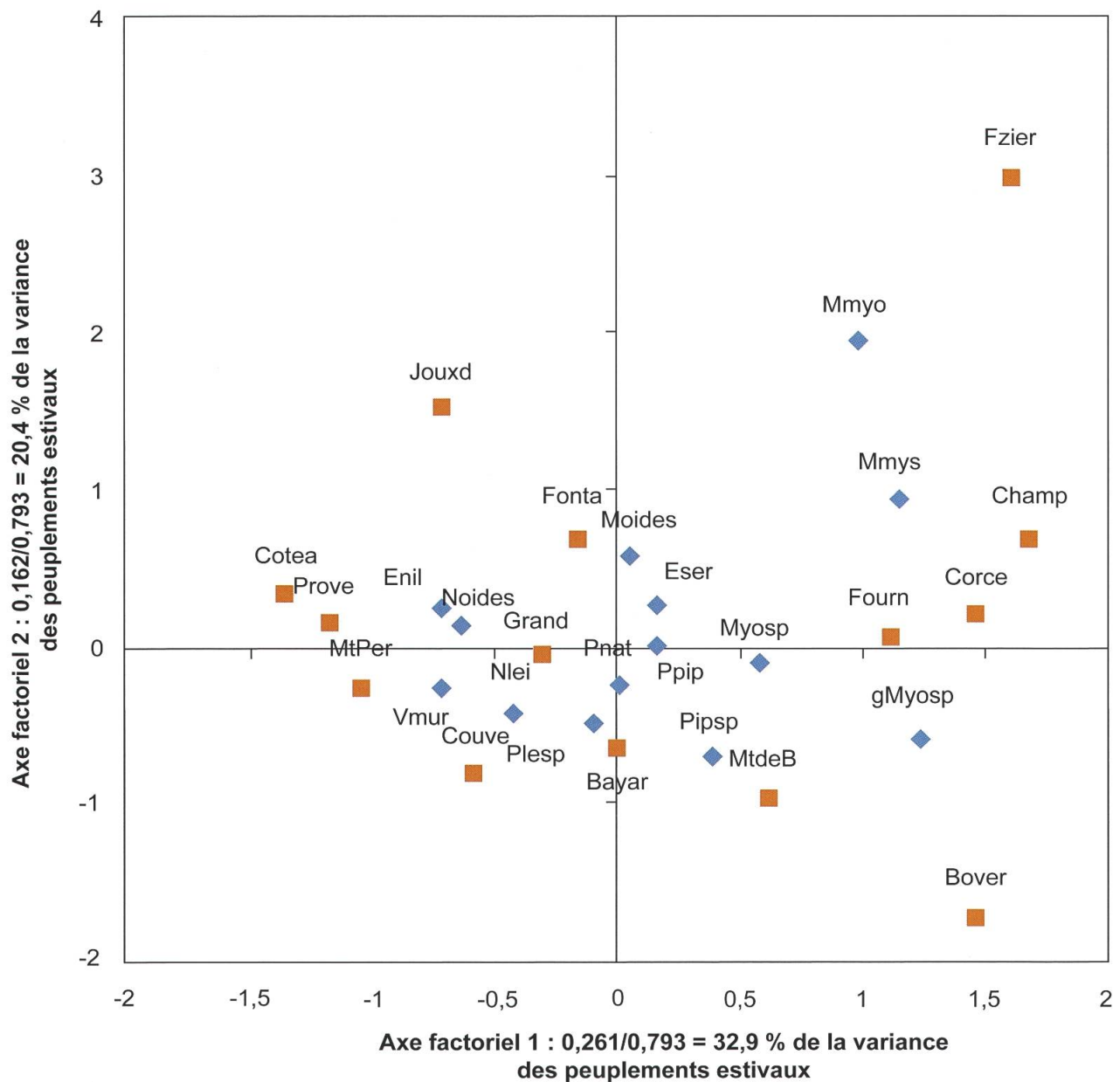


Figure 4. AFC des 14 sites décrits par 14 espèces ou groupes d'espèces détectés en période d'élevage dans au moins 3 sites.

On trouve ainsi la plupart des espèces de *Myotis sp.* dans les sites ayant un niveau thermique élevé (Corcelles-Payerne, Champvent, Fontanezier, Mont de Boveresse, Les Bayards), sauf *Myotis nattereri* dans les zones froides et humides (La Côte-aux-Fées), alors que les nyctaloïdes, ainsi que *Miniopterus schreibersii* sont liés aux zones froides et

éloignées des villages (Provence, Gurnigel, Joux-du-Plâne, Les Plânes, Grandsonnaz) (test de Monte Carlo, $p = 0,031$) (fig. 6). L'analyse différenciée des périodes (élevage et dispersion) montre qu'en automne certains *Myotis sp.* ont tendance à devenir plus montagnards et que *Nyctalus leisleri* et *Vespertilio murinus* se rapprochent des reliefs accidentés

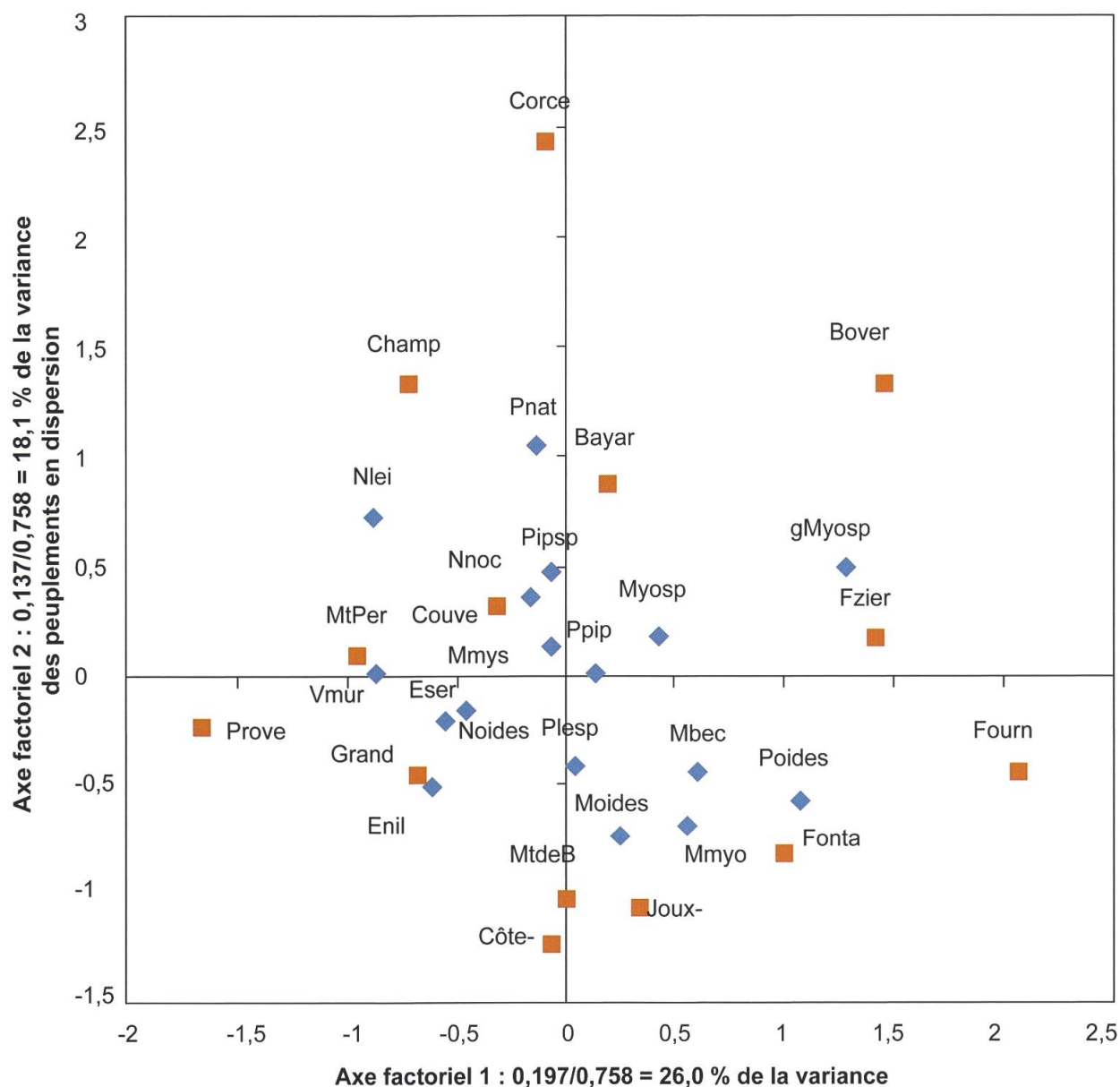


Figure 5. AFC des 14 sites décrits par 17 espèces ou groupes d'espèces détectés en période de dispersion dans au moins 3 sites.

(falaises, éboulis) (test de Monte Carlo sur la somme des valeurs propres canoniques, $F = 1,63$, $p = 0,040$, 1 000 permutations).

DISCUSSION

Plusieurs espèces, de par leur omniprésence, ne caractérisent aucun site particulièrement. Il en est ainsi de *Pipistrellus pipistrellus*, de

Plecotus sp., voire même d'*Eptesicus serotinus*. Pour les deux premières espèces, de nombreuses colonies de mise bas sont connues dans les villages du Val-de-Travers (BLANT & BOHNENSTENGEL, 2016), ce qui explique leur large répartition.

Avec 15 à 16 contacts par heure, les sites de Grandsonnaz, Les Plânes, Mont-de-Buttes,

Axes	1	2	3	4	Total
Valeurs propres	0,122	0,059	0,041	0,113	0,664
Corrélation espèces-					
niveau thermique	0,579	-0,004	0,645	0,0	
habitats particuliers	-0,354	0,631	0,486	0,0	
distances aux villages	-0,427	-0,640	-0,414	0,0	
Pourcentages de variation cumulés					
des données espèces	18,4	27,2	33,4	50,4	
de la relation espèces-environnement	55,0	81,4	100,0	0,0	
Somme de toutes les valeurs propres					0,664
Somme de toutes les valeurs propres canoniques					0,222
Test de Monte Carlo (1 000 permutations) :	1 ^{er} axe canonique		Valeur propre =		0,122
			F =		2,25
			<i>p</i> =		0,058
	Tous les axes canoniques		Σ val. propres can. =		0,222
			F =		1,67
			<i>p</i> =		0,031

Tableau 5. Influence des descripteurs environnementaux sur la structure du peuplement (14 sites x 20 espèces détectées sur l'ensemble de l'année). Résumé de l'ACC.

Les habitats particuliers comprennent les zones construites, les marais et eaux stagnantes.

Mont de Boveresse sortent du lot en terme d'activité pour *Pipistrellus pipistrellus*. Ceci s'explique par la proximité de nombreuses colonies qui totalisent plus de 6 000 femelles adultes (BLANT & BOHNENSTENGEL, 2016). Pour une majorité des sites, on note une augmentation de l'activité des pipistrelles durant la période de dispersion, ce qui est clairement à mettre en relation avec l'envol des jeunes en juillet et avec leur capacité à effectuer des déplacements plus importants en août (DIETZ *et al.*, 2007). En raison du caractère ubiquiste de cette espèce, sa vulnérabilité dépend avant tout de la distance qui sépare ses colonies de mise bas des parcs

éoliens, les sites éloignés de plus de 2 km des villages étant ainsi jugés moins sensibles. Les autres espèces de pipistrelles et *Miniopterus schreibersii* semblent être présentes de manière très aléatoire et il est difficile de se prononcer quant aux menaces qu'elles encourent.

L'activité de *Plecotus sp.* reste marginale (maximum de 6 contacts au Mont-de-Buttes) due entre autres à leur faible détectabilité acoustique. Pour cette espèce largement répandue dans le canton et chassant à faible hauteur, la menace tient plus de la destruction d'éléments paysagers riches en

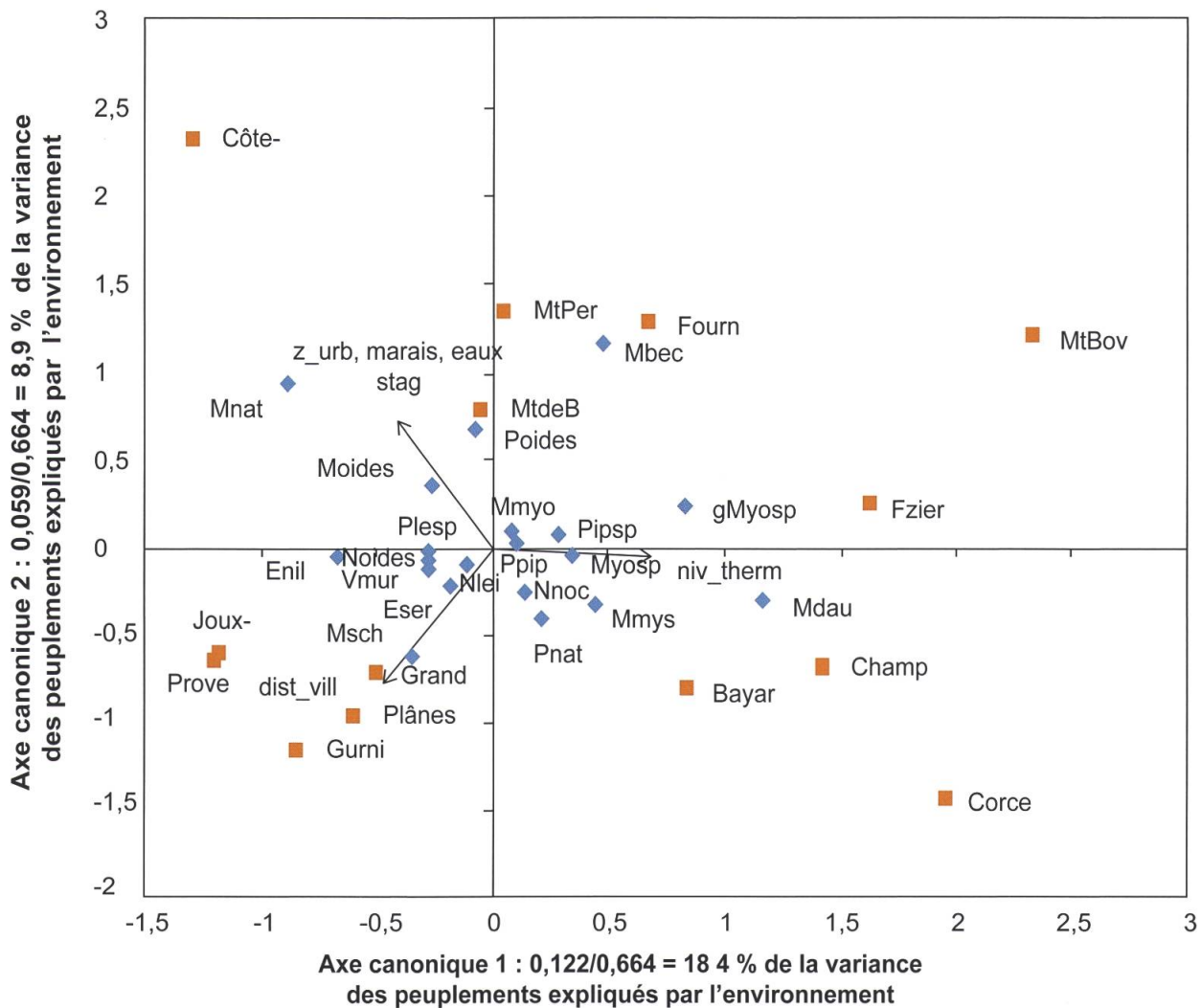


Figure 6. ACC des 14 sites décrits par 20 espèces ou groupes d'espèces détectés dans au moins 3 sites sur l'ensemble de la saison et ordonnés en fonction des descripteurs environnementaux.

ressources alimentaires (haies, bocages, prairies extensives, milieu forestier) que d'une mortalité directe liée aux pales des éoliennes (BOHNENSTENGEL *et al.*, 2014).

Eptesicus serotinus semble elle aussi assez largement répartie mais son activité est relativement faible avec un maximum de seulement 15 contacts sur un site. Contrairement à *Pipistrellus pipistrellus*, cette présence ubiquiste est donc probablement liée à sa capacité à effectuer de plus longues distances en vol ou à la présence de nombreux petits gîtes de mâles isolés. Les colonies d'élevage,

quant à elles, sont moins abondantes (uniquement deux colonies documentées au Val-de-Travers; BLANT & BOHNENSTENGEL, 2016). La vulnérabilité de cette espèce se justifie par sa densité probablement faible et, comme pour *Plecotus sp.*, les menaces qui pèsent sur elle consistent davantage en un appauvrissement des ressources paysagères qu'en collisions directes. L'activité acoustique peu élevée enregistrée à proximité de la colonie de Saint-Sulpice, contrastant avec l'intense utilisation des bocages du nord des Bayards révélée par une étude parallèle (AHLIN, 2013), suggère une distribution irrégulière chez cette

espèce, donc des menaces variant considérablement d'un site à l'autre.

Les nyctaloïdes caractérisent fortement les sites de la crête du 1^{er} anticlinal, y compris La Côte-aux-Fées, ainsi que la partie est du 2^e anticlinal, dans le secteur de la Vue-des-Alpes – Joux-du-Plâne. Les sites de La Côte-aux-Fées, Les Plânes, Provence, Gurnigel et Joux-du-Plâne sont même particulièrement marqués par la présence d'*Eptesicus nilssonii* (entre 2,0 et 3,8 contacts par heure) et *Vespertilio murinus* (14 contacts à Provence) durant la période d'élevage des jeunes. Il existe probablement aussi un lien direct entre les contacts enregistrés et la présence de colonies de ces espèces dans ces trois secteurs géographiques. Des colonies d'*Eptesicus nilssonii* sont en effet connues à La Côte-aux-Fées (BLANT & BOHNENSTENGEL, 2016), à La Chaux-de-Fonds et dans le vallon de Saint-Imier (CCO, données non publiées), alors que Couvet héberge une importante colonie de *Vespertilio murinus* composée de mâles qui semblent traverser chaque soir le futur parc de la Nouvelle Censière pour aller chasser au-dessus du lac à Yverdon (BLANT & BOHNENSTENGEL, 2016 ; obs. pers.). L'importante activité d'*Eptesicus nilssonii* à Provence pourrait traduire la présence d'une colonie non connue dans le secteur. Chez cette dernière, on remarque également une nette diminution de l'activité en période de dispersion, peut-être due à la sélection d'autres habitats de chasse ou à des mouvements vers les sites d'hibernation. En effet, à partir du mois d'août, cette espèce est occasionnellement retrouvée dans les mines, gouffres et grottes de la région (CCO, données non publiées) et RYDELL (1991) note une utilisation accrue des éclairages publics en fin de saison pour la chasse, même si cette tendance ne semble pas avoir été observée par MOESCHLER & BLANT en 1988 dans le Val-de-Travers. L'activité des nyctaloïdes de manière générale semble aussi moins intense en période de dispersion (1,7 à 4,4 contacts par heure), mais caractérise toujours une série de sites sommitaux

(Grandsonnaz, Provence, Gurnigel) ainsi que La Côte-aux-Fées. Une partie de ces espèces, comme *Vespertilio murinus* ou *Nyctalus noctula*, sont considérées comme migratrices (DIETZ *et al.*, 2007) et se déplacent certainement plus au sud à ce moment-là.

L'activité des *Myotis sp.* reste faible avec un maximum de 3,4 contacts par heure au Mont de Boveresse. Les *Myotis sp.* sont plutôt liés à des sites de plaine, à niveaux thermiques plus élevés, comme Corcelles-Payerne et Champvent, mais également à des sites plus forestiers comme le Mont-de-Buttes, Les Fourneaux, Les Bayards, le Mont de Boveresse sur le 2^e anticlinal, et à Fontanezier, au sud du 1^{er} anticlinal. Leur présence varie néanmoins au cours de la saison avec une augmentation des observations en période de dispersion sur des sites de plus haute altitude comme La Côte-aux-Fées, Les Bayards, la Joux-du-Plâne et le Mont Perreux (avec pour corollaire une diminution en basse altitude à Corcelles-Payerne et Champvent). La présence de gouffres utilisés comme sites d'essaimage sur le 2^e anticlinal jurassien, en particulier dans la forêt des Grands Bois, dans la forêt des Cornées et sur le Mont d'Amin (gouffre de Pertuis) (CCO, données non publiées), peut expliquer la plus grande fréquentation de ces secteurs par les *Myotis sp.* en automne. La présence de *Myotis nattereri* dans les zones froides et humides s'expliquerait donc également ainsi. Comme pour *Plecotus sp.*, ces espèces chassent préférentiellement en dessous de la strate arborescente et semblent *a priori* moins concernées par les collisions directes avec les éoliennes que par la modification de leur milieu. On ne sait par contre rien sur leur manière de se déplacer sur de longues distances.

Enfin, nous soulignerons la présence de *Nyctalus leisleri*, peu commune, sur plusieurs sites d'altitude durant la période estivale. Cette espèce migratrice était connue jusque-là pour apparaître dans la région préférentiellement en période de dispersion (printemps et automne). Ces données suggèrent que cette espèce pourrait également établir des

populations estivales sur les sommets et de ce fait subir un impact plus important que prévu face au développement des parcs éoliens.

CONCLUSION

L'activité des chiroptères et en particulier des espèces aériennes comme les nyctaloïdes et les pipistrelloïdes est, dans une plus ou moins large mesure, dépendante de phénomènes imprévisibles agissant sur la disponibilité de leurs ressources. Les fluctuations climatiques, les aléas météorologiques ou le régime d'exploitation agricole variable (fauches, amendements, déplacements des troupeaux) peuvent induire de brusques variations spatiales et temporelles des ressources trophiques disponibles aux chauves-souris. De même, la disponibilité des gîtes et des routes de vol sont tributaires d'activités humaines non prévisibles à l'échelle des communautés de chiroptères (rénovations de toitures, modification des éclairages publics, abattages). C'est pourquoi les schémas mis en évidence par la présente étude sont susceptibles de varier considérablement d'une année à l'autre et selon les secteurs considérés.

Néanmoins, il ressort de ce travail que toutes les espèces ne sont pas soumises aux mêmes risques face à la construction de parcs éoliens. Alors que les espèces du groupe myotis (Myotis sp., Plecotus sp., Barbastella barbastellus), volant préférentiellement en dessous de la cime des arbres, risquent d'être impactées principalement par une dégradation de leurs habitats de chasse (destruction de haies, de prairies et de pâturages maigres), les autres espèces (Pipistrellus sp., Miniopterus schreibersii, Eptesicus sp., Vespertilio murinus, Nyctalus sp.) encourent, en plus, un risque mortel de collision, leur altitude de vol pouvant atteindre la hauteur des pales à plus de 100 m (WELLIG, 2013). Il convient donc d'évaluer ces risques en rapport à l'utilisation du territoire par les chauves-souris et particulièrement par les espèces considérées comme sensibles, soit parce que leurs populations sont faibles, soit

parce que le risque d'impact peut être jugé important en raison de leur forte activité.

Les différentes analyses permettent de souligner deux importants enjeux pour la conservation des chiroptères face au développement de l'énergie éolienne :

- 1) Les importantes colonies de *Pipistrellus pipistrellus* situées dans le Val-de-Travers expliquent la très forte activité de cette espèce dans les secteurs d'implantation situés dans un rayon de 2 km autour des villages. Tout parc éolien situé à proximité d'un village est donc susceptible d'impacter négativement les populations de *Pipistrellus pipistrellus*.
- 2) Les secteurs de crêtes (entre le Chasseron et le Creux-du-Van et de la Vue-des-Alpes à la Joux-du-Plâne) sont utilisés préférentiellement par *Eptesicus nilssonii* et *Vespertilio murinus*, deux espèces dont la conservation est jugée prioritaire par la Confédération (OFEV, 2011). Pour ces espèces de haut vol et présentant de faibles populations, les sites sommitaux situés à moins de 5 km de leurs colonies de parturition présentent donc un enjeu particulier pour leur conservation.

Avec plus de 20 contacts par heure, 5 sites (Provence, Les Plânes, Grandsonnaz, Mont-de-Buttes, Mont de Boveresse) présentent clairement une activité plus élevée que les autres. En comparaison, les sites de plaine (Corcelles-Payerne, Champvent), pourtant plus favorables thermiquement, présentent des activités bien moindres (5 à 6 contacts par heure) probablement en raison d'un appauvrissement des ressources paysagères et trophiques. Ce constat souligne bien l'importance des zones de crêtes dont les paysages, encore relativement préservés, offrent des ressources vitales que les chiroptères ne trouvent plus en plaine.

L'utilisation des secteurs de crêtes par les chauves-souris devrait donc faire l'objet de relevés systématiques dans le cadre de l'évaluation de l'impact des parcs éoliens projetés afin

que des mesures concrètes puissent être proposées pour éviter les risques ou les réduire au maximum. De plus, des suivis sur le long terme devront permettre de juger si l'impact reste acceptable pour les populations de chiroptères situées à proximité des parcs éoliens en service.

REMERCIEMENTS

Ce projet a pu être réalisé grâce au soutien financier de la Confédération et du canton

de Neuchâtel (programme RPT 2012-2015). Nous remercions le Service faune, forêts et nature (SFFN) du canton de Neuchâtel pour son soutien et le SITN et le SIT-VD pour la mise à disposition des informations géographiques. Nous tenons à remercier Sabrina Joye pour les relevés de terrain effectués et Robin Letscher pour les déterminations des séquences acoustiques. Ce projet n'aurait pas abouti sans le soutien logistique du Musée d'histoire naturelle de La Chaux-de-Fonds.

BIBLIOGRAPHIE

- AHLIN, R. 2013. Cartographie du domaine de chasse d'une colonie de reproduction de sérotine commune *Eptesicus serotinus* dans le Jura neuchâtelois. *Thèse de Bachelor non publiée de la Haute École du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève - hepia*.
- ALDRIDGE, H.D.J.N. & RAUTENBACH, I.L. 1987. Morphology, echolocation and resource partitioning in insectivorous bats. *Journal of Animal Ecology*, 56, 763-778.
- ARLETTAZ, R., PERN, N. & HAUSSE, J. 1997. Trophic resource partitioning and competition between the two sibling bat species *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. *Journal of Animal Ecology*, 66, 897-911.
- ARLETTAZ, R. 2017. Éoliennes et volatiles, vrai problème. *Le Temps*, 20.1.2017.
- ARLETTAZ, R. 1999. Habitat selection as a major resource partitioning mechanism between the two sympatric sibling bat species *Myotis myotis* and *Myotis blythii*. *Journal of Animal Ecology*, 68, 460-471.
- ASHRAFI, S., BECK, A., RUTISHAUSER, M., ARLETTAZ, R. & BONTADINA, F. 2011. Trophic niche partitioning of cryptic species of long-eared bats in Switzerland: implications for conservation. *Eur J Wildl Res* 57: 843-849.
- BLANT, J.-D. & BOHNENSTENGEL, T. 2016. Recensement des colonies de pipistrelles communes, sérotines boréales, sérotines communes et sérotines bicolores du Val-de-Travers et estimation de la taille des populations. *Bull. Soc. neuchâtel. Sci. nat.* 136: 23-36.
- BOHNENSTENGEL, T., KRÄTTLI, H., OBRIST, M.K., BONTADINA, F., JABERG, C., RUEDI, M. & MOESCHLER, P. 2014. Liste rouge des chauves-souris de suisse, état 2011. *Office fédéral de l'environnement, Berne; Centre suisse de cartographie de la faune, Neuchâtel; Centres suisses de coordination pour l'étude et la protection des chauves-souris, Genève et Zurich; Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage, Birmensdorf. L'environnement pratique* 1412: 95 p.
- BRAUNISCH, V., COPPES, J., BÄCHLE, S., SUCHANT, R. 2015. Underpinning the precautionary principle with evidence: A spatial concept for guiding wind power development in endangered species' habitats. *Journal for Nature Conservation* 24: 31-40.
- COWLEY, M.J.R., WILSON, R.J., LÉON-CORTÉS, J.L., GUTIÉRREZ, D., BULMAN, C.R. & THOMAS, C.D. 2000. Habitat-based statistical models for predicting the spatial distribution of butterflies and day-flying moths in a fragmented landscape. *Journal of Applied Ecology*, 37 (Supplement 1), 60-72.
- DIETZ, C., VON HELVERSEN, O. & NILL, D. 2007. Handbuch der Flerdemäuse Europas und Nordwestafrikas: Biologie, Kennzeichen, Gefährdung. *Kosmos Verlag, Stuttgart*. 399 p.

- FERRIER, S., POWELL, G., RICHARDSON, K., MANION, G., OVERTON, J., ALLNUTT, F., CAMERON, S., MANTLE, K., BURGESS, N., FAITH, D., LAMOREUX, J., KIER, G., HUJMAN, R., FUNK, V., CASSIS, G., FISHER, B., FLEMONS, P., LEES, D., LOVETT, J. & VAN ROMPAEY, R. 2004. Mapping More of Terrestrial Biodiversity for Global Conservation Assessment. *BioScience*, 54, 1101-1109.
- FINDLEY, J.S. 1993. Bats. A community perspective. *Cambridge University Press, Cambridge*, 167 p.
- GUISAN, A. & ZIMMERMANN, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135, 147-186.
- JABERG, C. & GUISAN, A. 2001. Modelling the distribution of bats in relation to landscape structure in a temperate mountain environment. *Journal of Applied Ecology*, 38, 1169-1181.
- JONGMAN, R.H.G., TER BRAAK, C.J.F. & VAN TONGEREN, O.F.R. 1987. Data analysis in community and landscape ecology. *PUDOC, Wageningen*. 306 p.
- KUVLESKY, W.P., BRENNAN, L.A., MORRISON, M.L., BOYDSTON, K.K., BALLARD, B.M. & BRYANT, F.C. 2007. Wind Energy Development and Wildlife Conservation: Challenges and Opportunities. *Journal of Wildlife Management* 71 (8): 2487-2498.
- LEUZINGER, Y., LUGON, A. & BONTADINA, F. 2008. Éoliennes en Suisse – Mortalité de chauves-souris. *Rapport inédit sur mandat de l'OFEV et l'OFEN*, 37 p.
- MOESCHLER, P. & BLANT, J.-D. 1988. Étude et protection des chauves-souris dans les cantons de Neuchâtel et du Jura. *Rapport de synthèse 1982/1987, Rapport non publié*, 24 p.
- OFEV. 2011. Liste des espèces prioritaires au niveau national. Espèces prioritaires pour la conservation au niveau national, état 2010. *Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne. L'environnement pratique* 1103: 132 p.
- PEREIRA, H.M. & COOPER, H.D. 2006. Towards the global monitoring of biodiversity change. *Trends in ecology & evolution*, 21, 123-129.
- RYDELL, J. 1991. Seasonal use of illuminated areas by foraging northern bats *Eptesicus nilssonii*. *Holarctic Ecology* 14, 203-207.
- RYDELL, J., BACH, L., DUBOURG-SAVAGE, M., GREEN, M., RODRIGUES, L. & HEDENSTRÖM, A. 2010. Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*, 12 (2), 261-274.
- SCHAUB, M., GIMENEZ, O., SIERRO, A. & ARLETTAZ, R. 2007. Use of integrated modeling to enhance estimates of population dynamics obtained from limited data. *Conservation Biology*, 21, 945-955.
- SÆTHER, B.E. & BAKKE, Ø. 2000. Avian life history variation and contribution of demographic traits to the population growth rate. *Ecology*, 81 (3), 642-653.
- SIEMERS, B.M. & SWIFT, S.M. 2006. Differences in sensory ecology contribute to resource partitioning in the bats *Myotis bechsteini* and *Myotis nattereri* (Chiroptera: Vespertilionidae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 59, 373-380.
- TER BRAAK, C.J.F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67 (5), 1167-1179.
- TER BRAAK, C.J.F. 1996. Unimodal models to relate species to environment. *DLO-Agricultural Mathematics Group, Wageningen*. 266 p.
- WELLIG, S., NUSSLÉ, S., MILTNER, D., OBRIST, M.K., KOHLE, O., GLAIZOT, O., BRAUNISCH, V. & ARLETTAZ, R. 2013. Mitigating the negative effects of tall wind turbines on bats: vertical activity profiles and relationships to wind speed. *Unpubl. Masterarbeit der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern*.

ANNEXE 1 : NOMBRE DE CONTACTS PAR SITE
(TOTAL, EN PÉRIODE D'ÉLEVAGE ET EN PÉRIODE DE DISPERSION)
ET PAR ESPÈCES ET GROUPES D'ESPÈCES DÉTERMINÉS ACOUSTIQUEMENT

Groupe d'espèces		Nyctaloïdes				Pipistrellloïdes						Myotisoides																
	Nyctaloïdes sp.	Nyctalus leisleri	Nyctalus noctula	Vespertilio murinus	Eptesicus nilssonii	Eptesicus serotinus	Pipistrellus kuhlii	Pipistrellus nathusii	Pipistrellus pipistrellus	Pipistrellus pygmaeus	Pipistrellus sp.	Pipistrellloides sp.	Miniopterus schreibersii	Barbastella barbastellus	Plecotus sp.	Myotisoides sp.	Myotis sp.	Myotis brandtii	Myotis nattereri	Myotis bechsteini	Myotis mystacinus	Myotis emarginatus	Myotis daubentonii	Myotis blythi	Myotis myotis	Myotis myotis/blythii	Chiroptera sp.	Total
Sites																												
Les Fourneaux					1	3			88		1	9	1	1	4	2	17				2					3		131
Élevage					1	3			22				1	1	3	1	3				1					2		37
Dispersion									66		1	9			1	1	14				1					1		94
Mont-de-Buttes	6	3			2	8	1	1	162		2				6	1	15			1	1					1	2	212
Élevage		3			1	5	1	1	92		2				3		8									1		117
Dispersion	6				1	3			70						3	1	7		1	1							2	95
Grandsonnaz	18	1	2	1	12	6		3	150		2				2	2	13										1	213
Élevage	9	1	2	1	8	1		2	87		2					2	8											123
Dispersion	9				4	5		1	63						2		5										1	90
Les Bayards	8	1	2	1		4		5	116		5				3	1	12						1			1	1	161
Élevage	3	1	1	1		1		4	36		1				2	1	3						1					55
Dispersion	5		1			3		1	80		4				1		9								1	1	1	106
Boveresse								2	154		16						29	1	1	1						3	1	207
Élevage								1	74		14						5									2		96
Dispersion								1	80		2						24	1		1						1	1	111
Les Plânes	17	2	1	6	5	3		6	159	1	7	2	4	1	5	3	7											229
Élevage	14	1		4	4	2		5	68		4	1	4		4	2	1											114
Dispersion	3	1	1	2	1	1		1	91	1	3	1		1	1	1	6											115

Groupe d'espèces	Nyctaloïdes					Pipistrelloïdes							Myotisoides										Total				
	Nyctaloides sp.	Nyctalus leisleri	Nyctalus noctula	Vespertilio murinus	Eptesicus nilssonii	Eptesicus serotinus	Pipistrellus kuhlii	Pipistrellus nathusii	Pipistrellus pipistrellus	Pipistrellus pygmaeus	Pipistrellus sp.	Pipistrelloides sp.	Miniopterus schreibersii	Barbastella barbastellus	Plecotus sp.	Myotisoides sp.	Myotis sp.	Myotis brandtii	Myotis nattereri	Myotis bechsteini	Myotis mystacinus	Myotis emarginatus		Myotis daubentonii	Myotis blythi	Myotis myotis	Myotis myotis/blythii
Sites																											
Gurnigel	10	2	1	1	21	15		2	62	1	4			3	1	4											
Élevage	6	2			16	1			4		1			2		1											
Dispersion	4		1	1	5	14		2	58	1	3			1	1	3											
Joux-du-Plâne	9				25	5		2	58				2	2	2	7	1	1	1		1				2		
Élevage	7				23	5		2	13						1				1					1			
Dispersion	2				2				45				2	2	1	7				1							
La Côte-aux-Fées	17	2		2	20	1			101		9	2		2	3	4	2	4	1						1		
Élevage	8	2			15				32					2													
Dispersion	9			2	5	1			69		9	2			3	4	2	4	1						1		
Champvent	3		1	2		2	1		23		5						7			1	1	1	1	2	1	1	
Élevage	1					2			5		2					5				1				1	1		
Dispersion	2		1	2			1		18		3						2					1	1	2			
Fontanezier						1			29		2			2	1	3				1	1			1	3	1	
Élevage						1			17						1	1	1			1			1		2		
Dispersion									12		2				2		2								1	1	
Provence	70	3		14	38	6			105		5			2	2	1				2							
Élevage	45			8	33	1			56		1			1	1	1											
Dispersion	25	3			5	5			49		4			1	1												
Mont Perreux	9		1	6	4	2		1	50			1				3	12		2	1							
Élevage	8				4	1		1	15							3				1	1						
Dispersion	1		1			1			35			1				3	9			1							
Corcelles-Payerne	2	1						6	27		6					17				2			1				
Élevage								1	16							7											
Dispersion																	10										
Total	169	15	8	27	128	56	2	28	1284	2	64	14	7	3	32	22	146	1	6	5	10	1	4	2	7	10	6
	2059	37																									

