Analyse de l'activité des chiroptères en fonction des conditions météorologiques et de sa répartition au cours de la nuit

Marie LABOURÉ, Pierre PAPON, Thomas GIRARD, Michaël LEROY & Kevin MARTINEZ

ENCIS Environnement
Parc d'Ester Technopole
21 rue Columbia, 87068 Limoges Cedex
marie.laboure@encis-ev.com

Résumé. - Trois années d'études sur mâts de mesures météorologiques à différentes hauteurs réparties sur 18 sites représentatifs du grand centre ouest de la France, ont permis d'acquérir des jeux de données conséquents. Ces derniers permettent l'étude de la répartition des chiroptères en fonction des conditions météorologiques et de sa répartition au cours de la nuit. Dans cet article, les thématiques de températures et de vitesses de vent sont étudiées ainsi que les répartitions de différents groupes d'espèces au cours de la nuit en fonction de la hauteur d'enregistrement, et enfin la répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien.

Mots-clés. - Chiroptères, température, vitesse de vent, altitude, cycle circadien, acoustique.

Introduction

Différentes variables influencent l'activité chiroptérologique : les conditions météorologiques, l'altitude et l'heure de la nuit conditionnent la présence de chauves-souris. L'influence de la température sur la présence de chiroptères est particulièrement controversée dans la bibliographie. Des articles concluent à une corrélation positive de ces deux variables [Redell *et al.*, 2006 ; Arnett *et al.,* 2007 ; Baerwald & Barclay, 2011], alors que d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant sur les chauves-souris [Kerns *et al.*, 2005 ; Horn *et al.*, 2008]. Arnett *et al.* en 2006 démontrent que l'activité des chiroptères au-dessus de 44 m n'apparaît pas comme affectée par les températures. Sur les conditions de vitesses de vent, la validation de l'influence de cette variable semble aussi complexe. Certaines espèces, à l'exemple des noctules, robustes de par leur taille et leur vol puissant, apparaissent comme peu influencées par des conditions telles que la vitesse de vent [Arthur & Lemaire, 2015]. Enfin, des articles présentent des répartitions différentes au cours de la nuit en fonction du groupe d'espèces voire de l'espèce. Les pipistrelles, noctules et sérotines sont considérées comme des espèces crépusculaires et sont remplacées peu à peu au cours de la nuit par des espèces plus nocturnes à l'instar des barbastelles, murins et oreillards [Barataud, 2012]. D'autres études suggèrent un regain d'activité à l'aube [Swift, 1980]. Les noctules, et plus particulièrement la Noctule commune, affichent ce second pic d'activité en fin de nuit [Kronwitter, 1988 ; Rachwald, 1992 ; Kaňuch & Krištín, 2007 ; Arthur & Lemaire, 2015]. D'un point de vue de la répartition altitudinale, les différents groupes d'espèces de chauves-souris se répartissent selon un gradient assez sectorisé comme l'illustrent Collins & Jones [2009] et Sattler & Bontadina [2005].

Matériels et méthodes

Le jeu de données est composé de 114 044 données chiroptérologiques et 686 347 données météorologiques nocturnes. Ces données sont enregistrées sur un mât de mesures à différentes altitudes et saisons de 2015, 2016 ou 2017. Elles sont issues de 18 sites d'inventaire dont 17 % sont des milieux forestiers, 22 % des milieux céréaliers et 61 % des milieux bocagers. Les sites sont répartis sur six départements : la Charente, le Cher, la Creuse, la Dordogne, la Haute-Vienne, l'Indre et la Vendée. Les saisons sont réparties pour le printemps du 1/03 au 31/05, pour l'été du 1/06 au 15/08 et pour l'automne du 16/08 au 31/10.

Collecte et analyse des sons

Le matériel utilisé est composé d'enregistreurs automatiques d'ultrasons de type SM2Bat et SM4Bat munis de micros déportés à 15 m, 45 m et 75 m selon les sites. Les écoutes débutent 30 min avant le coucher du soleil et s'arrêtent 30 min après le lever. Les données sont récupérées sur les sites d'étude mensuellement. Par la suite, l'ensemble des données est converti à l'aide du logiciel Kaleidoscope (© Wildlife Acoustics), puis analysé par le logiciel Sonochiro ® (Biotope, France), permettant d'obtenir des indices de confiance de 0 à 10 par identification. Une vérification par un chiroptérologue de ces indices, à l'aide du logiciel Batsound ® (Pettersson Elektronik, Sweden), est ensuite mise en place afin d'avoir des proportions de groupes d'espèces ou d'espèces les plus représentatives possible.

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 53 06/03/20 09:28

Attribution des données météorologiques et horaires

Suite à la validation des pistes sonores de chiroptères, les données de vitesse de vent et de température sont associées à chaque son. Parallèlement, les horaires en fonction du coucher et du lever du soleil de chaque localité sont associés à chaque contact de chauves-souris.

Composition des groupes d'espèces

Les groupes d'espèces désignés pour cette étude sont :
- les barbastelles et oreillards : Barbastelle d'Europe, Oreillard gris et Oreillard roux ;
- les murins ;
- les noctules : Noctule de Leisler et Noctule commune ;
- les pipistrelles : Pipistrelle commune, Pipistrelle de Kuhl et Pipistrelle de Nathusius ;
- les sérotines : Sérotine commune et Sérotine bicolore.

Analyses menées sur le jeu de données
- Mise en parallèle des vitesses de vent et des températures nocturnes et de l'activité des chiroptères. Ces graphiques sont constitués d'histogrammes des occurrences de données météorologiques associés aux contacts chiroptérologiques cumulés.
- Répartition des contacts de chiroptères au cours de la nuit en fonction des saisons et des mensualités. Le nombre de contacts de chiroptères est réparti en fonction du temps écoulé après le coucher du soleil et de la saison ou du mois de son observation. Sur l'analyse mensuelle des repérages sur les pics d'activité ont été mis en place afin d'observer l'évolution de ces derniers au fil du temps.
- Répartition des contacts en fonction des groupes d'espèces au cours de la nuit. Ces résultats prennent la forme de courbes par groupes d'espèces réparties en fonction du temps écoulé après l'heure de coucher du soleil.
- Répartition des contacts de chiroptères en fonction du cycle circadien. Ces répartitions sont représentées par des cartes de chaleur réalisées via le logiciel R (package GGplot et Density). Ce gradient de chaleur est basé sur des densités de points, chaque point représentant un contact de chiroptère.

Limites de l'étude

Au cours de cette étude certaines limites sont apparues :
- la fiabilité des identifications : le temps d'analyse ne permettant pas la vérification de l'intégralité des sons (mais au moins des principaux indices de confiance délivrés par Sonochiro ® via Batsound ®), la quasi-totalité des résultats sont présentés par groupe d'espèces ;
- les résultats sont des observations sans validation statistique. Les tendances observées restent intéressantes de par l'importance du jeu de données présenté dans cet article ;
- la localité des sites d'études : cette analyse est plutôt représentative du centre-ouest de la France et ne sera pas forcément transposable à l'échelle de l'aire biogéographique ;
- a localisation des mâts de mesures : la majorité des sites étudiés est représentative du milieu bocager. Cependant, l'intégralité des mâts étant installée au sein de zones ouvertes, les lisières se situent à au moins 100 m des dispositifs.

Résultats

Mise en parallèle de la vitesse de vent nocturne et de l'activité chiroptérologique

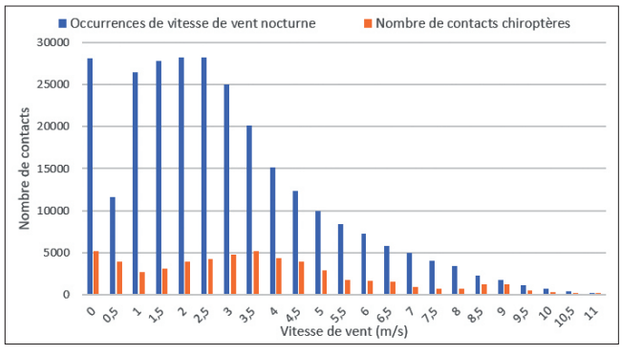


Figure 1. – Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction de la vitesse de vent

L'activité chiroptérologique représentée en orange est répartie sur l'ensemble des conditions de vent disponibles. Une légère « sélection » des vents plus faibles entre 0 et 3,5 m/s se dessine avec les maximums de contacts de chiroptères répertoriés dans cette tranche. A noter la présence de chiroptères au-dessus de 9 m/s soit 35 km/h.

Mise en parallèle de la température nocturne et de l'activité chiroptérologique

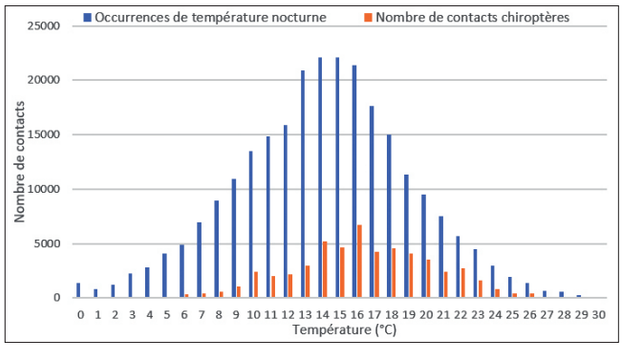


Figure 2. – Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction de la température

La répartition des contacts de chiroptères sur la courbe des occurrences de températures nocturnes affiche une « préférence » pour les températures entre 10°C et 22°C avec un décalage observé entre les deux histogrammes. Le maximum de contacts enregistrés se situe à 16°C.

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 54 06/03/20 09:28

Répartition du nombre de contacts de chiroptères au cours de la nuit en fonction des saisons

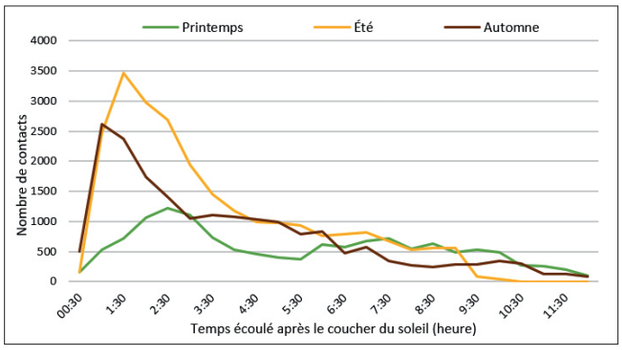


Figure 3. – Répartition des contacts de chiroptères au cours de la nuit en fonction des saisons

Les trois saisons affichent des courbes avec chacune leurs particularités. Au printemps, les contacts sont plutôt bien répartis au cours de la nuit avec un léger pic d'activité 2h30 après le coucher du soleil, suivi d'un maintien du nombre de contacts jusqu'en fin de nuit. En été, le nombre de contacts enregistrés augmente fortement avec un maximum 1h30 après le coucher du soleil. La courbe diminue ensuite progressivement jusqu'à l'aube. Enfin, en automne, l'activité atteint son maximum 1h après le coucher du soleil, s'ensuit une phase de diminution du nombre de contacts jusqu'à 2h30 après le coucher du soleil, une stabilisation de 3h puis un effondrement progressif de l'activité jusqu'à l'aube.

Répartition du nombre de contacts de chiroptères au cours de la nuit en fonction de la mensualité

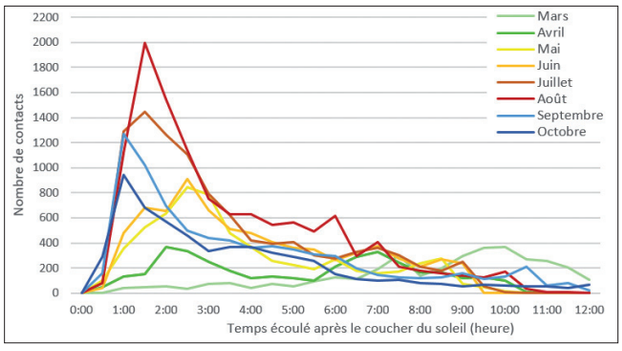


Figure 4. – Répartition des contacts de chiroptères au cours de la nuit en fonction de la mensualité

Si l'on observe la répartition des contacts de façon mensuelle, plusieurs variations se dessinent.

Lors des mois de mars et avril, l'activité s'étend tout au long de la nuit et avec un maximum d'activité en fin de nuit pour le mois de mars et 2h après le coucher du soleil pour le mois d'avril.

Les mois de mai et juin affichent un schéma différent avec un pic du nombre de contacts 2h30 après le coucher du soleil suivi d'une activité moindre mais qui se maintient jusqu'à l'aube.

Les mois suivants, juillet et août, montrent les maximums de contacts observés au cours du cycle complet. Le pic d'activité est plus tôt que les mois précédents, 1h30 après le coucher du soleil et la courbe diminue rapidement jusqu'à 3h puis progressivement jusqu'en fin de nuit.

Enfin, en septembre et octobre, le maximum de contacts est atteint seulement 1h après le coucher du soleil et est suivi d'une diminution plus lente que les autres mois jusqu'à l'aube.

Ce graphique illustre ainsi un décalage du pic d'activité chiroptérologique vers le début de nuit.

Répartition des contacts en fonction des groupes d'espèces au cours de la nuit

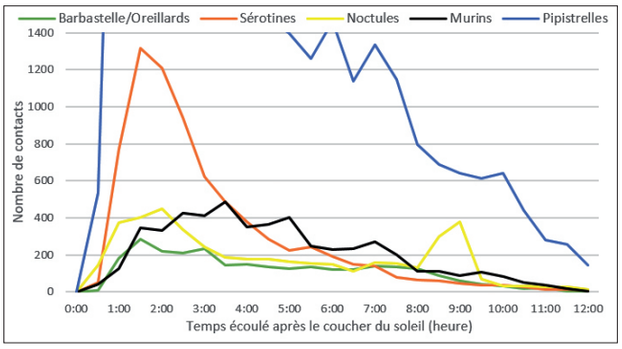


Figure 5. – Répartition des contacts de chiroptères par groupe d'espèces au cours de la nuit

La répartition des groupes d'espèces est variable au cours de la nuit. Les pipistrelles affichent les maximums d'activité en début de nuit puis une chute progressive jusqu'à l'aube (la courbe de ce groupe est tronquée pour plus de lisibilité). Les sérotines reproduisent le même schéma mais avec un nombre de contacts moindre. Les barbastelles et oreillards montrent un comportement plutôt stable tout au long de la nuit. Ce phénomène est aussi observé pour les murins avec une courbe plus en dents de scie au cours de la nuit.

Les noctules sont quant à elles les seules à dessiner deux pics d'activité, un premier en début de nuit et un second en fin de nuit.

Pour affiner ces premiers résultats sur les groupes d'espèces, ces derniers ont fait l'objet d'une analyse différenciée en fonction des différentes altitudes.

Résultat obtenu à 15 m.

A 15 m, les mêmes types de résultats se dessinent au cours de la nuit (*Figure 6*).

Résultat obtenu à 45 m

A 45 m, une disparition quasi totale des groupes des barbastelles, oreillards et murins est à noter (*Figure 7*). Les pipistrelles maintiennent un pic en début de nuit suivi d'une chute forte. Les sérotines montrent un pic d'activité plus négligeable suivi d'une forte baisse dès 3h30 après le coucher du soleil. Les noctules illustrent aussi, à cette altitude, les deux pics de contacts précédemment obser-

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 55 06/03/20 09:28

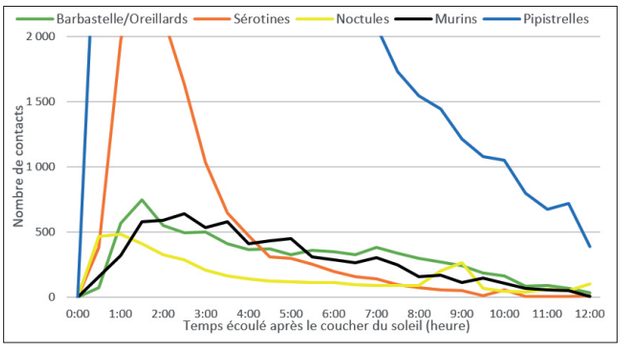


Figure 6. – Répartition des contacts de chiroptères par groupe d'espèces à 15 m au cours de la nuit

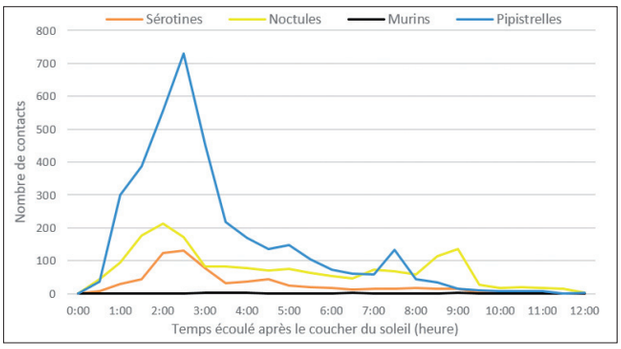


Figure 7. – Répartition des contacts de chiroptères par groupe d'espèces à 45 m au cours de la nuit

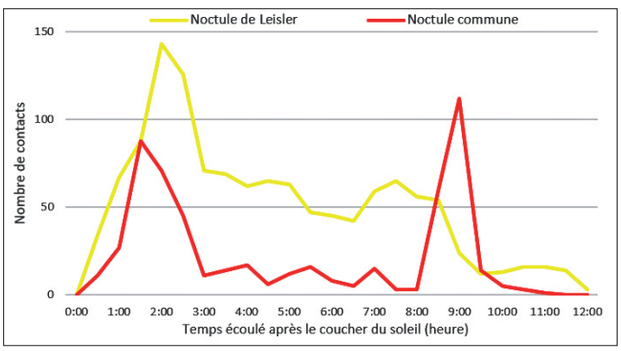


Figure 8. – Répartition des contacts de noctules à 45 m au cours de la nuit

vés. Les données obtenues à cette altitude le permettant, une analyse plus fine a été menée sur les deux espèces de noctules.

Ainsi, le graphique ci-dessus affiche (*Figure 8*) que la Noctule commune est l'espèce à l'origine du deuxième pic observable en fin de nuit. Cette espèce montre aussi, entrecoupé entre les deux pics d'activité, un effondrement presque total de son nombre de contacts entre 3h et 8h après le coucher du soleil. Au contraire, la Noctule de Leisler affiche une activité stable sur ces horaires puis une chute abrupte au moment du regain d'activité de la Noctule commune.

Résultat obtenu à 75 m

A 75 m, un autre schéma se dessine. Les pipistrelles et noctules affichent des pics d'activité élevés en début de nuit (les courbes sont tronquées pour plus de lisibilité). Sur l'ensemble des groupes d'espèces détectés à 75 m (pipistrelles, noctules, sérotines) un regain d'activité secondaire est observable en fin de nuit.

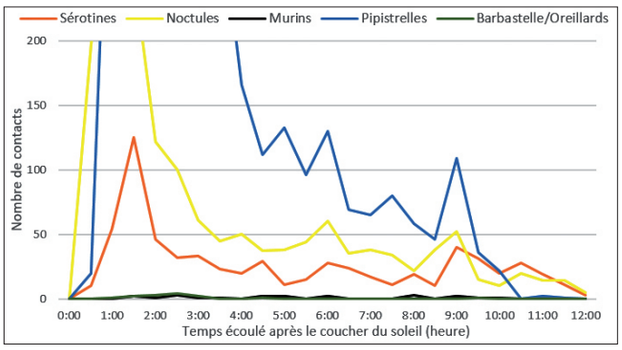


Figure 9. – Répartition des contacts de chiroptères par groupe d'espèces à 75 m au cours de la nuit

Répartition des contacts de chiroptères en fonction du cycle circadien

Les densités de points sur le cycle complet d'étude montrent une activité plutôt concentrée en fin de nuit pour le mois de mars suivi d'une bonne répartition de l'activité tout au long de la nuit de fin avril à août. Quelques points chauds sont observables :

- en première moitié de nuit de mai à octobre ;
- le plus marqué en début de nuit en août ;
- en début de nuit entre septembre et octobre.

Pour affiner ces premiers résultats sur ces cartes de chaleurs, ces derniers ont fait l'objet d'une analyse différenciée en fonction des différentes hauteurs d'enregistrement.

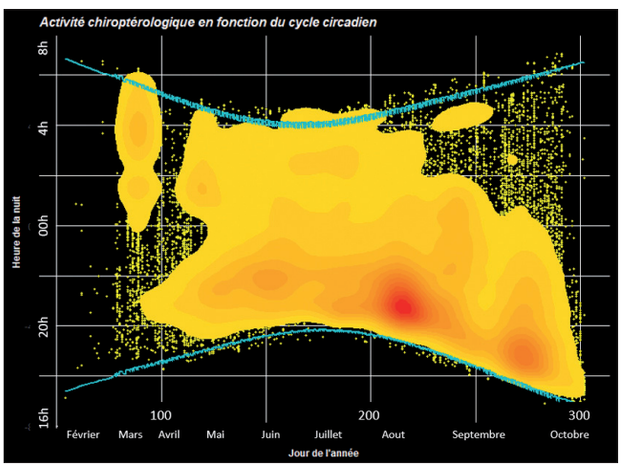


Figure 10. – Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 56 06/03/20 09:28

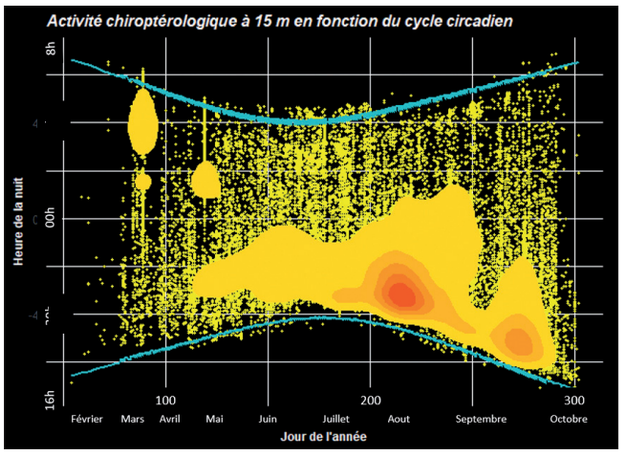


Figure 11. – Répartition de l'activité chiroptérologique à 15 m en fonction du cycle circadien

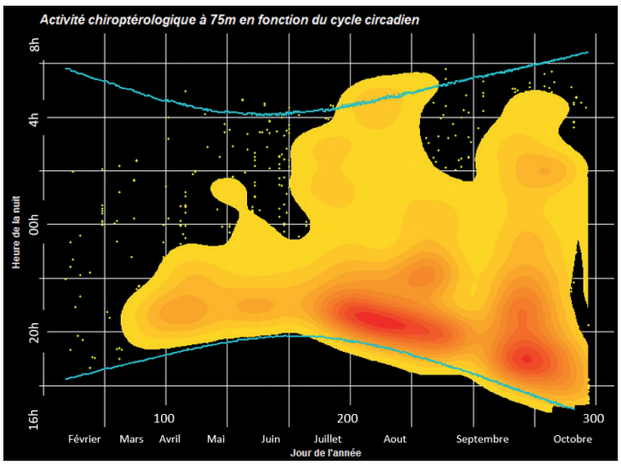


Figure 13. – Répartition de l'activité chiroptérologique à 75 m en fonction du cycle circadien

Résultat obtenu à 15 m.

Les résultats à 15 m, affichent un pic en fin de nuit sur le mois de mars, suivie d'une concentration d'activité dans la première moitié de la nuit de mai à octobre. Deux zones de chaleur sont observables en début de nuit de juillet à fin août et de manière plus légère au cours du mois de septembre.

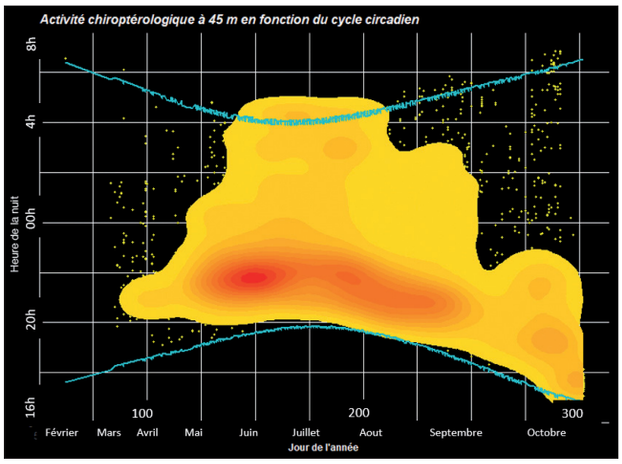


Figure 12. – Répartition de l'activité chiroptérologique à 45 m en fonction du cycle circadien

Résultat obtenu à 45 m

A 45 m la répartition est différente. De mars à avril une faible densité de points est observable hormis quelques heures après le coucher du soleil. L'activité est présente tout au long de la nuit de mai à septembre. Juin, juillet et août affichent une concentration de l'activité après le lever du soleil. Lors des mois de septembre et octobre l'activité a lieu dans la première moitié de la nuit. Un point chaud s'étend dans les premières heures de la nuit de mai à fin aout.

Résultat obtenu à 75 m

La répartition des contacts chiroptérologiques à cette hauteur se concentre dans la première moitié de la nuit de mars à juin, sur l'intégralité de la nuit de fin juin à début août, puis de septembre à octobre. De mi-juin à octobre, l'activité des chauves-souris s'amorce avant le coucher du soleil et sur le mois de juillet elle s'étend après le lever du soleil. Deux points chauds ressortent sur ce graphique :

- dans les premières heures de la nuit de mi-juillet à fin août ;
- de septembre à octobre plus étendu jusqu'aux trois quarts de la nuit.

Conclusions et discussions

Plusieurs tendances sont observées dans cette étude.

Dans un premier temps, l'influence des conditions météorologiques (vent et température) sur le nombre de contacts chiroptérologiques. Deux légères tendances sont observables avec une « préférence » des chauves-souris pour les vitesses de vent assez faibles (0 à 3,5 m/s) et des températures plutôt élevées (10 à 22° C). Ces résultats ont été cités dans plusieurs publications à l'exemple de Horn *et al.* [2008], Silva [2009], Behr *et al.* [2011], Brinkmann *et al.* [2011], Amorim *et al.* [2012] ou encore Limpens *et al.* [2013]. Cependant, il existe des variabilités d'adaptation aux conditions météorologiques en fonction des espèces [Dürr, 2007 ; Seiche *et al.*, 2007 ; Arnett *et al.*, 2011 & 2013], des sites [Arnett *et al.*, 2008 ; Rydell *et al.*, 2010a ; Limpens *et al.*, 2013], des régions [Dubourg-Savage *et al.*, 2011 ; Niermann *et al.*, 2011 ; Georgiakakis *et al.*, 2012] et des années [Bach & Niermann, 2011 & 2013 ; Limpens *et al.*, 2013]. Ces variations inter-spécifiques, inter-sites, inter-regionales et inter-annuelles complexifient la compréhension des variables influençant l'activité des chauves-souris mais valident aussi une adaptation aux conditions disponibles comme l'illustrent nos résultats.

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 57 06/03/20 09:28

La répartition des contacts au cours de la nuit en fonction des saisons et des mois a permis d'observer que les chiroptères sont plus « plastiques » au printemps et on le note plus en mars et avril où les chauves-souris chassent tout au long de la nuit avec un maximum de contacts en mars, en fin de nuit. Ce phénomène peut se justifier en partie par le peu de « bonnes » conditions disponibles à cette saison et la sortie d'hibernation des chauves-souris nécessitant un nourrissage particulièrement important et ainsi une tolérance aux conditions moins favorables à l'activité des espèces étudiées.

Les mois de mai et juin sont une phase de transition entre la période printanière et estivale. Un pic d'activité en début de nuit commence à être nettement observable 2h30 après le coucher du soleil et le nombre de contacts reste notable tout au long de la nuit. Cette période correspond aussi aux installations des premières colonies de mise-bas et d'élevage des jeunes. Ainsi, les chauves-souris commencent à se disperser à proximité de leur gîte (la distance dépendant des mœurs spécifiques) afin de pouvoir effectuer des allers-retours à la colonie pour des nourrissages des jeunes au cours de la nuit [Kapfer & Aron, 2007]. De plus, Russ *et al.* [2003] démontrent une indépendance de plusieurs espèces de chauves-souris aux conditions de température à partir du mois de juin, ce qui tend à valider qu'il s'agit d'une période charnière notamment pour les pipistrelles et les noctules.

La période estivale, et particulièrement juillet et août affichent les activités chiroptérologiques maximales au cours de l'année avec un fort pic d'activité 1h30 après le coucher du soleil. Le nombre de contacts diminue ensuite progressivement au cours de la nuit. Cette forte activité correspond certainement à l'envol des jeunes de leurs colonies, créant ainsi une augmentation du nombre de chauves-souris fréquentant les sites [Whitaker, 1998 ; Gerell-Lundberg *et al.*, 1994]. Cette phase est aussi une période d'apprentissage pour les jeunes auprès des adultes ce qui explique l'augmentation en un même point du nombre de contacts.

Enfin, la période automnale, et notamment les mois de septembre et octobre, montre un pic d'activité 1h après le coucher du soleil, avec un maintien durant 3h au cours de la nuit. Cette période du cycle des chiroptères est une phase transitoire. Les chauves-souris préparent leurs réserves de nourriture, réalisent des déplacements migratoires entre les gîtes estivaux et hivernaux [Hedenström, 2009] et les regroupements de swarming se concentrent à cette période.

La répartition des différents groupes d'espèces au cours de la nuit a permis d'observer des comportements caractéristiques pour certains d'entre eux.

Ainsi, les pipistrelles sont les espèces qui montrent le plus de contacts sur l'ensemble de l'année et de la plage altitudinale étudiée.

Les sérotines affichent une courbe d'activité similaire à celle des pipistrelles avec un nombre de contacts moins élevé. Les barbastelles, oreillards et murins montrent une activité répartie tout au long de la nuit. Une seconde similarité pour ces espèces est la concentration de leur activité jusqu'à la canopée. Ce cantonnement altitudinal est conditionné par leur morphologie, avec des ailes plutôt larges et courtes [Norberg & Rayner, 1987], et leur système d'écholocation, avec des hautes fréquences, courtes durées et faibles intensités [Russ, 1999 ; Parsons & Jones, 2000], permettant ainsi à ces espèces une forte manœuvrabilité et une très bonne détection du milieu environnant [Collins & Jones, 2009]. Ces espèces affichent quelques différences puisque si les barbastelles et oreillards montrent une activité stable et linéaire au cours de la nuit, les murins affichent des nombres de contacts en dents de scie.

Les noctules dessinent une courbe relativement différente des autres espèces, quelle que soit la hauteur d'écoute. En effet, les deux pics d'activité en début et fin de nuit sont caractéristiques d'une espèce en particulier, la Noctule commune. Ce phénomène a été relaté par Arthur & Lemaire [2015] comme un comportement de chasse typique de l'espèce avec quelques fois un troisième pic d'activité en milieu de nuit [Rachwald, 1992 ; Kronwitter, 1988].

A 75 m, l'ensemble des groupes d'espèces présents affiche un pic secondaire en fin de nuit. Ce résultat laisse à penser à un retour au gite en augmentant la hauteur de vol pour les pipistrelles, sérotines et noctules [Rodrigues *et al.*, 2008].

Cette étude permet d'illustrer une stratification altitudinale des espèces. Tous les groupes d'espèces sont bien représentés à 15 m. A 45 m, les pipistrelles et sérotines sont dominantes et les barbastelles, oreillards et murins sont quasiment inexistants. Enfin, à 75 m, les pipistrelles et noctules dominent par le nombre de contacts et les sérotines représentent alors le troisième groupe d'espèce. Les barbastelles, oreillards et murins restent toujours quasiment absents. Les groupes d'espèces dominants à partir de 45m présentent des comportements proches de « glaneurs de plein air » et sont tous caractérisés par de longues ailes étroites et des spécificités écholocatives similaires, leur permettant d'évoluer en altitude [Hull & Cawthen, 2013 ; Rydell *et al.*, 2010]. La présence d'activité de chasse chez ces espèces, à une altitude allant jusqu'à 90 m, a été démontré par Sattler & Bontadina [2005] en France, en parallèle Alhen *et al.* [2007] démontrait le record dans les hauteurs de chasse pour la Noctule commune à 1 200 m.

Les résultats de répartition des contacts chiroptérologiques en fonction du cycle circadien permettent d'avoir une vision sur l'activité chiroptérologique au cours de la nuit et en fonction de l'altitude.

Sur l'ensemble du jeu de données, plusieurs conclusions sont notables. La présence d'activité est marquée du milieu à la fin de la nuit au mois de mars. Ce résultat pourrait être lié à des déplacements plus tardifs dans la nuit, notamment chez la Pipistrelle de Nathusius, comme

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 58 06/03/20 09:28

semblent le montrer des prémisses de résultats en ce sens de Le Campion & Dubos [2017]. Les deux points de chaleurs semblent corrélés avec deux phases du cycle chiroptérologiques connues pour leurs activités marquées. Il pourrait s'agir pour fin juillet à août de l'émancipation et l'apprentissage des jeunes [Rachwald, 1992] et pour septembre-octobre des déplacements liés au swarming ou à la migration entre les sites d'été et d'hiver. Chez la Noctule de Leisler le mois de juillet apparaît comme une phase transitoire dans l'activité de l'espèce avec une augmentation du nombre de contacts détectés selon McAney & Fairley [1990].

A 15 m les résultats sont similaires mais majoritairement concentrés dans la première moitié de la nuit, ce qui correspond aux maximums d'activités chiroptérologiques.

A 45 m, des tendances différentes semblent se dessiner. L'activité est répartie dans la première moitié de la nuit, de mars à début mai et de septembre à octobre, alors que de mai à fin août elle s'étend tout au long de la nuit jusqu'après le lever du soleil. Ce résultat est certainement lié aux phases intenses de nourrissage des adultes afin de subvenir aux besoins de leurs petits. Ce regroupement d'activité est certainement corrélé à l'accessibilité aux insectes qui semblent montrer la plus forte biomasse en début de nuit [Erkert, 1982 ; Barclay, 1991]. A cette altitude le point de chaleur maximale se situe de mi-mai à mi-juin ce qui correspond à l'installation des colonies dans leurs gites estivaux avant la mise-bas [Dietz *et al.,* 2009 ; Kapfer & Aron, 2007].

A 75 m, la répartition apparaît encore bien différente. Ainsi en altitude, de mars à juin, l'activité se concentre dans la première moitié de la nuit. Puis, à partir de juillet, le nombre de contacts s'étend d'avant le coucher à après le lever du soleil jusqu'en août, ce qui souligne un besoin de nourrissage important pouvant être lié à l'émancipation des jeunes et à leur apprentissage. Il a été mis en évidence que lors des premières phases de chasse des jeunes, ces derniers restent à proximité de leur gîte augmentant ainsi le nombre de chauves-souris sur les territoires de chasse [Dietz *et al.,* 2009]. Une deuxième zone de forte activité se situe en septembre-octobre et s'étend sur une grande partie de la nuit, correspondant ainsi à la dispersion des colonies, aux périodes de swarming [Hutterer, 2005 ; Bauer, 1960] et aux phases plus intenses de chasse pour préparer les réserves hivernales [Dietz *et al.*, 2009]. Le swarming est une période où les chauves-souris réalisent de multiples allers-retours au cours de la nuit entre différentes cavités ainsi que des vols de poursuites et des comportements sociaux [Dietz *et al.*, 2009 ; Bauer, 1960].

Si l'on compare ces trois résultats en fonction des hauteurs d'écoute, un schéma intéressant semble se dégager.

- Au printemps, l'activité se concentre en deuxième partie de nuit à 15 m et en première partie de nuit en hauteur : les espèces se déplaceraient-elles en altitude en début de nuit avant d'aller chasser plus près de la végétation en fin de nuit ?

- En été, l'inverse semble se produire. L'activité se concentre en première moitié de nuit à 15 m alors qu'elle est présente tout au long de la nuit à 45 m et 75 m, allant même jusqu'à s'étendre avant le coucher et après le lever du soleil. Les déplacements de départ et de retour au gîte semblent aussi se passer en altitude (bien au-dessus de la canopée) avec à cette période de l'année une activité de chasse répartie à différentes hauteurs [Sattler & Bontadina, 2005 ; Alhen *et al.*, 2007].

- En automne, à 15 m et 45 m, l'activité est centralisée en première moitié de nuit alors qu'à 75 m cette dernière s'étend d'avant le coucher du soleil à la presque fin de nuit. A cette hauteur, il serait envisageable qu'il s'agisse de déplacements de plus ou moins longue distance dans le cadre des sites de swarming ou des migrations vers les gîtes hivernaux. Plusieurs références bibliographiques corroborent les comportements de vols en altitude lors des déplacements de longue distance comme les migrations. En effet, Cryan *et al.* [2014] montrent des vols en altitude avec des comportements de déplacements à vue et l'utilisation des courants d'air. Johnson *et al.* [2003] et Erickson *et al.* [2011] démontrent des émissions sonars réduites en migration ce qui valide des couloirs de vol en milieux dégagés, soit en plein ciel [Holzhaider *et al.*, 2001, Aulagnier *et al.*, 2005].

Ainsi, plus le cours de l'année avance, plus l'altitude semble être exploitée par les chiroptères.

Perspectives de l'étude :

Plusieurs questions restent en suspens à l'issue de cette première analyse :

- existe-t-il des seuils statistiques pour les conditions météorologiques et l'activité des chiroptères ?

- quelle est l'influence de l'habitat environnant des sites étudiés sur l'activité et la répartition des groupes d'espèces ?

- quels sont les comportements de chaque espèce (notamment les espèces connues pour être migratrices) plutôt que d'un groupe d'espèces ?

Remerciements

Cette étude n'aurait pas pu être réalisée sans la confiance des porteurs de projets avec lesquels nous travaillons, qui nous ont laissés exploiter leurs données à des buts de recherche scientifique.

Références bibliographiques

Alhen I., Bach L., Baagoe H.J. & Pettersson J., 2007. - *Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia.* Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency, Report 5571, p.36.

Amorim F., Rebelo H. & Rodrigues L., 2012. - Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica,* 14 (2) : 439-457.

Arnett E.B., 2006. - A preliminary evaluation on the use of dogs to recover bat fatalities at wind energy facilities.

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 59 06/03/20 09:28

Wildlife Society Bulletin, 34 (5) : 1140-1145.

Arnett E.B., Barclay R.M. & Hein C.D., 2013. - Thresholds for bats killed by wind turbines. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11 : 171–171. doi:10.1890/15409295-11.4.171 & 2013a.

Arnett E.B., Brown W.K., Erickson W.P., Fiedler J., Hamilton B.L., Henry T.H., Jain A., Johnson G.D., Kerns J., Koford R.R., Nicholson C.P., O'Connell T., Piorkowski M. & Tankersley R., 2008. - Patterns of fatality of bats at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management,* 72 (1) : 61 -78.

Arnett E.B., Huso M.M.P., Reynolds D.S. & Schirmacher M., 2007. - Patterns of preconstruction bat activity at a proposed wind facility in northwest Massachusetts. *An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative*. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA, 35 p.

Arnett E.B., Huso M.M., Schirmacher M.& Hayes J.P., 2011. - Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9 (4) : 209– 214.

Arthur L. & Lemaire M., 2015. - *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. Deuxième édition. Mèze, Biotope / Paris, Muséum National d'Histoire Naturelle, 544 p.

Aulagnier S., 2005. - France. In : Hutterer R., Ivanova T., Meyer-Cords C. & Rodrigues L. : Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, 28 : 41-43.

Bach L. & Niermann I., 2011 & 2013. - *Monitoring der Fledermausaktivität im Windpark Langwedel. Überprüfung des Abschaltalgorithmus.* Bericht 2012. Unpubl.report to PNE Wind AG, 28 p.

Baerwald E.F. & Barclay R.M.R., 2011. - Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *The Journal of Wildlife Management*, 75 : 1103-1114.

Barataud M. & Giosa S., 2012. - *Biodiversité des chiroptères et gestions forestières en Limousin : rapport*. Groupe Mamm. Herpéto. Limousin, Limoges, 32 p.

Barclay R.M.R., 1991. - Population Structure of Temperate Zone Insectivorous Bats in Relation to Foraging Behaviour and Energy Demand. *Journal of Animal Ecology*, 60 (1) : 165-178.

Bauer K., 1960. - Die Säugetiere des Neusiedlersee-Gebietes (Österreich). *Bonner zoologische Beiträge,* 11 (2-4) : 141-344.

Behr O., Brinkmann R., Niermann I. & Korner-Nievergelt F., 2011. - Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In Brinkmann R., Behr O., Niermann I. & Reich M. (Hrsg.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum*, 4 : 177-286.

Brinkmann R., Behr O., Niermann I. & Reich M., 2011. - *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen*. Umwelt und Raum 4. 457 p.

Collins J. & Jones G., 2009. - Differences in bat activity in relation to bat detector height: implications for bat surveys at proposed windfarm sites. *Acta Chiropterologica,* 11 (2) : 343-350.

Cryan P.M., Gorrensen P.M., Hein C.D., Schirmacher M.R., Diehl R.H., Huso M.M., Hayman D.T.S., Fricker P.D., Bonaccorso F.J., Johnson D.H., Hesit. H. & Dalton D.C., 2014. - Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences.* doi: 10.1073/pnas.1406672111.

Dietz C., Von Helversen O. & Nill D., 2009. - *L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord : Biologie, caractéristiques, protection*. Delachaux et Niestlé, Paris, France. 400 p.

Dubourg-Savage M. J., Rodrigues L., Santos H., Georgiakakis P., Papadatou E., Bach L. & Rydell J., 2011. - Pattern of bat fatalities at wind turbines in Europe comparing north and south. In *Conference on Wind energy and Wildlife impacts*, Trondheim, Norway, 2-5.

Dürr T., 2007. - Möglichkeiten zur Reduzierung von Fledermausverlusten an Windenergieanlagen in Brandenburg. *Nyctalus* (N.F.), 12 (2-3) : 238-252.

Erickson W. P., Johnson G. D., Strickland M. D. & Kronner K., 2011. - *Avian and bat mortality associated with the Vansycle Wind Project, Umatilla County, Oregon: 1999 study year.* Western EcoSystems Technology, Inc. for Umatilla County Department of Resource Services and Development, Pendleton, Oregon. 21 p.

Erkert H.G., 1982. - Ecological aspects of bat activity rhythms. In T.H. Kunz (Ed.). *Ecology of bats*. New York, Plenum Press, 201-242.

Georgiakakis P., Kret E., Cárcamo B., Doutau B., Kafkaletou-Diez A., Vasilakis D. & Papadatou E., 2012. - Bat fatalities at wind farms in north-eastern Greece. *Acta Chiropterologica,* 14 (2) : 459-468.

Gerell-Lundberg K. & Gerell R., 1994. - The mating behaviour of the pipistrelle and the Nathusius' pipistrelle (Chiroptera) - A comparison. *Folia Zoologica*, 43 (4) : 315-324.

Hedenström A., 2009. - Optimal migration strategies in bats. *Journal of Mammalogy*, 90 (6) : 1298–1309.

Holzhaider J. & Zahn A., 2001. - Bats in the Bavarian Alps : species composition and utilization of higher altitudes in summer. *Mammalian Biology*, 66 (2) : 144-154.

Horn J.W., Arnett E.B. & Kunz T.H., 2008. - Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *The Journal of Wildlife Management*, 72 (1) : 123-132.

Hull C.L. & Cawthen L., 2013. - Bat fatalities at two wind farms in Tasmania, Australia: Bat characteristics, and spatial and temporal patterns. *New Zealand Journal of Zoology,* 40 (1) : 5–15.

Hutterer R., Ivanova T., Meyer-Cords C. & Rodrigues L., 2005. - Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, 28 : 3-162 + app.

Johnson G.D., Erickson W.P., Strickland M.D., Shepherd M.F. & Shepherd D.A., 2003. - Mortality of bats at a Large-scale wind power development at Buf-

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 60 06/03/20 09:28

falo Ridge, Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 150 : 332-342.

Kaňuch P. & Krištín A., 2007. - Factors influencing bat assemblages in forest parks. *Ekológia* (Bratislava), 24 : 45–56.

Kapfer G. & Aron S., 2007. - Temporal variation in flight activity, foraging activity and social interactions by bats around a suburban pond. *Lutra,* 50 (1) : 9-18.

Kerns J., Erickson W.P. & Arnett E.B., 2005. - *Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia in Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines.* The Bats and Wind Energy Cooperative. E.B Arnett (ed.). Bat Conservation International, Austin, Tex : 24-95.

Kronwitter F., 1988. - Population structure, habitat use and activity patterns of the Noctule bat, *Nyctalus noctula* Schreb., 1774 (Chiroptera: Vespertilionidae) revealed by radio-tracking. *Myotis*, 26 : 23 -85.

Le Campion T. & Dubos T., 2017. - *Etude la migration des chauves-souris en Bretagne 2013-2016 : rapport final mai 2017.* Groupe Mammalogique Breton, 52 p.

Limpens H.J.G.A., Boonman M., Korner-Nievergelt F., Jansen E.A., Van der Valk M., La Haye M.J.J., Dirksen S. & Vreugdenhil S.J., 2013. - *Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting*. Zoogdiervereniging & Bureau Waardenburg. Report 2013, 12.

McAney C.M. & Fairley J.S., 1990. - Observations at summer roosts of the lesser horseshoe bat in Co Clare. *The Irish Naturalists' Journal*, 23 (1) : 1-6.

Niermann I., Brinkmann R., Korner-Nievergelt F. & Behr O., 2011. - Systematische Schlagopfersuche - Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. In Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (ed.): *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen*. Umwelt und Raum 4 : 40-115.

Norberg U.M. & Rayner J.M.V., 1987. - Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B, Biological Sciences,* 316 (1179) : 335-427.

Parsons S. & Jones G., 2000. - Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *Journal of experimental biology*, 203 (17) : 2641-2656.

Rachwald A., 1992. - Habitat preference and activity of the noctule bat *Nyctalus noctula* in the Bialowieza Primeval Forest. *Acta Theriologica,* 37 : 413-422.

Redell D., Arnett E.B., Hayes J.P. & Huso M., 2006. - *Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in south-central Wisconsin. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative*. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA, 52 p.

Rodrigues L., Bach L., Dubourg-Savage M.-J., Goodwin J. & Harbush C., 2008. - Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. *EUROBATS,* publication series (3). PNUE/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany.

Russ J.M., 1999a. - *The bats of Britain and Ireland. Echolocation calls, sound analysis and species identification*. Newtown : Alana Books. 102 p.

Russ J.M., 1999b. - *The Microchiroptera of Northern Ireland: community composition, habitat associations and ultrasound.* Unpbl. PhD thesis, The Queen's University of Belfast.

Russ J. M., Briffa M. & Montgomery W. I., 2003. - Seasonal patterns in activity and habitat use by bats (*Pipistrellus spp. and Nyctalus leisleri*) in Northern Ireland, determined using a driven transect. *Journal of Zoology*, 259 (3) : 289-299.

Rydell J., Bach L., Dubourg-Savage M-J., Green M., Rodrigues L. & Hedenström A., 2010a. - Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*, 12 (2) : 261-274.

Rydell J., Bach L., Dubourg-Savage M-J., Green M. Rodrigues L. & Hedenström A., 2010b. - Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *European Journal of Wildlife Research*, 56 (6) : 823-827.

Sattler T. & Bontadina F., 2005. - *Bases pour l'évaluation écologique de deux secteurs d'installations éoliennes en France sur la base de la diversité et l'activité des chauves-souris*. Compte-rendu succinct, SWILD, Zürich par ordre de Megawatt Eole, Stuttgart, 23 p.

Seiche K., Endl P. & Lein M., 2007. - Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen – Ergebnisse einer landesweiten Studie. *Nyctalus* (N.F.), 12 (2-3) : 170-181.

Silva R., 2009. - *Effet des conditions météorologiques sur l'activité de chasse des Chiroptères*. M.N.H.N., C.R.B.P.O., 36 p.

Swift S.M., 1980. - Activity patterns of pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) in north-east Scotland. *Journal of Zoology,* London, 190 : 285-295.

Whitaker J.O.Jr., 1998. - Life history and roost switching in six summer colonies of eastern pipistrelles in buildings. *Journal of Mammalogy*, 79 (2) : 651-659.

Maquette Symbiose-N38-V01.indd 61 06/03/20 09:28