



OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/26754>

To cite this version:

Schutz, Fanny . *Étude épidémiologique des événements de mortalité de chiroptères enregistrés par le réseau SMAC*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2020, 95 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

ETUDE EPIDEMIO-CLINIQUE DES EVENEMENTS DE MORTALITE DE CHIROPTERES ENREGISTRES PAR LE RESEAU SMAC

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

Fanny SCHUTZ
Née, le 19/04/1995 à NICE (06)

Directeur de thèse : M. Guillaume LE LOC'H

JURY

PRESIDENT :

M. Gérard CAMPISTRON

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESSEURS :

M. Guillaume LE LOC'H

Mme Mathilde PAUL

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRES INVITEES :

Mme Anouk DECORS

OFB, Direction de la recherche et de l'appui scientifique, Unité sanitaire
de la faune – Orléans

Mme Lorette HIVERT

OFB, Direction de la recherche et de l'appui scientifique,
Unité sanitaire de la faune – Orléans

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie - Thérapeutique*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAÎTRES DE CONFÉRENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*

Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie - Analgésie*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LHERMIE Guillaume**, *Economie de la santé animale*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
M. **LEYNAUD Vincent**, *Médecine interne*
Mme **ROBIN Marie-Claire**, *Ophthalmologie*
Mme **ROMANOS Lola**, *Pathologie des ruminants*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*
M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

Remerciements

A Monsieur le Professeur Gérard Campistron, Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse.

Qui nous a fait le grand honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.
Hommages respectueux.

A Monsieur le Docteur Guillaume Le Loch, Maître de Conférences de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse Qui a accepté d'encadrer ce travail et m'a fait confiance lors de sa réalisation.

Qu'il trouve ici le témoignage de ma reconnaissance.

A Madame le Docteur Mathilde Paul, Maître de Conférence de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

Qui nous a fait l'honneur de s'intéresser à ce travail et d'accepter de participer à notre jury de thèse. Sincères remerciements.

A Madame le Docteur Anouk Decors,

Qui a accepté de m'aider et m'a fait confiance pour la réalisation de ce travail. Toute ma reconnaissance.

A Madame le Docteur Lorette Hivert,

Qui a accepté de m'apporter son aide pour la réalisation de ce travail. Toute ma reconnaissance.

Table des matières

Table des matières	5
Introduction	10
Partie I : État des connaissances actuelles sur les maladies des chiroptères	11
<i>Prédation</i>	11
Prédation par les chats domestiques (<i>Felis silvestris catus</i>)	11
Importance de la prédation par les chats	11
Épidémiologie : facteurs de risque	12
Comportement de prédation et lésions post-mortem associées	12
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	13
Prédation par les oiseaux	14
Importance de la prédation par les oiseaux.....	14
Épidémiologie : facteurs de risque	14
Présentation clinique et lésions post-mortem	15
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	16
<i>Éoliennes</i>	17
Agent causal	17
Épidémiologie : facteurs de risque	17
Facteurs prédisposants l'approche	17
Facteurs prédisposants la mortalité.....	18
Compréhension des collisions	20
Morbidity et mortalité	20
Signes cliniques et lésions post-mortem.....	22
Radiologie.....	22
Autopsie	22
Histologie.....	23
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	24
<i>Traumatisme routier</i>	24
Agent causal	24
Épidémiologie : facteurs de risque	25
Morbidity et mortalité	25
Signes cliniques et lésions post-mortem.....	26
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	26
<i>Traumatisme par projectile</i>	27
Agent causal	27
Épidémiologie : facteurs de risque	27
Mortalité et morbidité	27
Signes cliniques et lésions post-mortem.....	27
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	28
<i>Traumatisme par collision avec un objet fixe</i>	28
Agent causal	28
Signes cliniques et lésions post-mortem.....	28
Radiologie.....	28
Histologie.....	29
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	29

<i>Substances toxiques</i>	30
Agent causal	30
Epidémiologie : facteurs de risque	32
Signes cliniques et lésions post-mortem :	33
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	36
<i>Agents infectieux</i>	37
Immunité	37
Particularités du système immunitaire	37
Évolution du système immunitaire selon l'âge, le sexe et la période biologique	38
Conséquence des particularités du système immunitaire sur le portage d'agents infectieux et le rôle de réservoir	39
Biologie des chiroptères et rôle dans la dispersion.....	39
Agents viraux	40
Agents étiologiques	40
Épidémiologie et signes cliniques.....	41
Méthodes de détection	44
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	45
Agents bactériens	45
Pasteurellose	45
Autres agents bactériens potentiellement pathogènes pour les chiroptères	47
Agents bactériens peu ou non pathogènes pour les chiroptères	51
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	51
Agents fongiques	51
Agents étiologiques	51
Épidémiologie : facteurs de risque	51
Signes cliniques et lésions post-mortem	52
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	52
Agents parasitaires	52
Agents étiologiques	52
Epidémiologie : facteurs de risque	53
Morbidity et mortalité	54
Signes cliniques et lésions post-mortem	54
Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.....	55
Bilan	55
Partie II : Analyses des données issues du réseau de Surveillance des Mortalités Anormales des Chiroptères (SMAC)	56
<i>Matériel et méthode</i>	56
Le réseau SMAC	56
Epifaune	57
Exemple de fonctionnement de la base Epifaune	58
Complétion, validation et gestion des données issues du réseau SMAC	61
Traitement des données	61
<i>Résultats de l'analyse du réseau SMAC</i>	62
SMAC, un réseau de détection précoce des maladies, en faveur des chiroptères - Article publié dans la revue Faune Sauvage	62
Le réseau SMAC : son histoire, son fonctionnement	63
Un jeune réseau, qui fonctionne... ..	65
...Mais dont les processus d'observation sont encore mal connus.....	68

De quoi meurent les chiroptères ?	70
Conclusion	73
Remerciements	73
<i>Analyse du fonctionnement du réseau</i>	74
Description des processus de découverte, de collecte et d'analyse des évènements	74
Pression d'observation et fluctuation de la perception de la mortalité anormale	74
Typologie des découvreurs et des collecteurs	74
Indicateurs de fonctionnement	74
Description des données	76
Examen des points critiques et propositions d'améliorations	76
Maîtrise du processus d'observation	77
Adaptation des systèmes de déclaration	77
Amélioration de la prise de commémoratifs et de la récupération d'information sur le terrain	77
Amélioration de la collecte et de la conservation des cadavres	78
Amélioration des analyses réalisées en laboratoire	78
Conclusion	80

Table des annexes :

Annexe 1– Périodes biologiques des chiroptères en Europe selon Mühldorfer et al. (2011)	91
Annexe 2 – Diagramme du travail effectué pour aboutir à l'exploitation des données SMAC	91
Annexe 3 – Propositions de modification d'une fiche SMAC	92
Annexe 4 – Fiche technique : détermination de l'âge et du sexe	93
Annexe 5 – Caractéristiques générales des modes de conservations	94

Table des figures :

Figure 1 - Photographie du chiroptérode traversant l'autoroute A89 en Auvergne-Rhône-Alpes.....	26
Figure 2- Principales étapes de fonctionnement du réseau SMAC.....	57
Figure 3 – Capture d'écran de la page d'Epifaune à compléter avec les informations propres à l'évènement	59
Figure 4 – Capture d'écran de la page d'Epifaune à compléter avec les informations propres à l'échantillon	59
Figure 5 - Capture d'écran de la page d'Epifaune permettant la saisie d'un triplet MAM.	60
Figure 6- Capture d'écran de la page d'Epifaune permettant la saisie d'un triplet MAM.	60
Figure 7 – Capture d'écran de la page Epifaune synthétisant les informations saisies pour cet évènement.	61
Figure 8 - Nombre d'évènements et nombre d'espèces déclarés au réseau SMAC selon les années..	65
Figure 9 - Espèces de chauves-souris déclarées au réseau SMAC	66
Figure 10 - Intervalles de temps entre les étapes de la collecte, de la conservation et du dépôt en laboratoire.....	75
Figure 11 - Précision des informations indéterminées ou non précisées sur le terrain et en laboratoire, pour un total de 70 évènements.....	76

Table des tableaux

Tableau 1– Caractéristiques principales des agents toxiques rencontrés chez les chiroptères	30
Tableau 2 - Facteurs de risque pour les populations des chiroptères des principaux agents toxiques	32
Tableau 3 - Présentations cliniques et lésions post-mortem des principaux agents toxiques chez les chiroptères	33
Tableau 4 - Méthodes de détection pour les principaux agents toxiques chez les chiroptères	35
Tableau 5 - Caractéristiques générales des principaux virus identifiés chez les chiroptères	40
Tableau 6 - Epidémiologie et signes cliniques des principaux virus chez les chiroptères.....	43
Tableau 7 - Méthodes de détection des principaux virus chez les chiroptères	44
Tableau 8 - Etiologies, épidémiologies, signes cliniques et méthodes de détections pour les bactéries potentiellement pathogènes pour les chiroptères	50
Tableau 9- Distribution des évènements par région et période biologique.	66
Tableau 10 – Distribution des évènements selon l'espèce, l'âge et la période biologique	68
Tableau 11 – Causes de mortalité selon les espèces et les périodes biologiques	70

Table des équations

Équation 1 : Indice de score corporel corrigé par la taille.	79
---	----

Table des abréviations :

ADILVA : Association française des Directeurs et cadres des Laboratoires Vétérinaires Publics d'Analyses

FCEN : Fédération des Conservatoires d'espaces naturels

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

OFB : Organisme Français de la Biodiversité

PCB : Polychlorobiphényles

PNAC : Plan National d'Action en faveur des Chiroptères

SFEPM : Société française pour l'étude et la protection des mammifères

SMAC : Surveillance de la mortalité anormale des chiroptères

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

WNS : Syndrome du nez blanc (White Nose Syndrom)

Introduction

La diminution de la biodiversité est devenue ces dernières années une préoccupation sociétale majeure. Alors que les causes d'origine anthropogénique (destruction et modification des habitats, surexploitation des ressources, changements climatiques, espèces invasives...) sont souvent bien identifiées, le rôle des maladies comme facteur majeur de déclin d'espèces sauvages n'est souvent objectivé que lors de mortalité ou de morbidité de masse, et est donc probablement sous-estimé.

Les méthodes de surveillance des maladies des chiroptères tendaient jusqu'à présent, comme pour beaucoup d'autres espèces sauvages, à prioriser la détection de maladies affectant également l'homme et les animaux domestiques au détriment de celles impactant uniquement leurs populations (Grogan et al., 2014). Les maladies des chiroptères sont peu documentées et leur rôle dans le déclin des populations probablement insuffisamment pris en compte, notamment lorsque la distribution spatio-temporelle de la maladie est diffuse ou lorsque les effets sont sub-létaux. Les chiroptères constituent pourtant un groupe potentiellement vulnérable vis-à-vis des maladies, du fait de leur statut de conservation parfois fragile, de leur biologie (cycle de vie complexe, dynamique de population lente) et de leur phénologie (migration, capacité de dispersion, agrégation saisonnière, etc.). Dans ce contexte, il était essentiel de se doter d'un système de détection précoce et pluridisciplinaire de la mortalité des chiroptères. Le réseau SMAC (Surveillance de la Mortalité Anormale des Chiroptères), étudié ici, constitue cet outil de vigilance basé sur la détection précoce et le diagnostic d'événements de morbidité¹ et de mortalité.

Les objectifs de ce réseau créé en 2014 sont : i) la détection précoce de maladies à forte expression clinique quel que soit l'agent causal (infectieux, toxique, environnemental, etc.), ii) l'acquisition de connaissances sur les maladies des chauves-souris (expressions épidémiologique, clinique et lésionnelle, facteurs de risque de développement, etc.) et iii) le suivi de leur distribution spatio-temporelle. SMAC est un réseau de surveillance événementielle c'est-à-dire qui repose sur la détection et le diagnostic d'événements de mortalité/morbidité jugés anormaux. La mise en évidence d'un agent causal ne résulte pas d'un dépistage systématique mais d'une démarche diagnostique pour déterminer les processus ayant abouti à la mort des animaux.

Le travail présenté ici consiste à rassembler, analyser et synthétiser les résultats collectés depuis la création du réseau, puis à interpréter les résultats en s'appuyant sur l'analyse bibliographique réalisée en préambule. Le premier objectif est de proposer un bilan épidémiologique inédit de la mortalité des chiroptères en France mettant en évidence les causes proximales² de mortalité et les processus pathologiques principaux. Le deuxième objectif est la réalisation d'un bilan sur le fonctionnement du réseau et la proposition de pistes d'amélioration.

¹ Ensemble des effets liés à une maladie

² Cause ultime de la mort avec ou sans processus sous-jacent.

Partie I : État des connaissances actuelles sur les maladies des chiroptères

Prédation

Les chauves-souris sont prédatées par un grand panel d'espèces telles que des arthropodes, des amphibiens, des poissons, des reptiles, des oiseaux ou des mammifères comme en attestent de nombreux rapport à travers le monde (Esbérard, Vrcibradic, 2007 ; Nyffeler, Knörnschild, 2013 ; Noronha et al., 2015 ; Mikula, 2015 ; Tanalgo et al., 2019). En Europe la diversité de prédateurs est moindre et comprend essentiellement des oiseaux et des mammifères même si des cas plus atypiques ont été recensés (Maria Mas, 2015 ; Mikula, 2015). Pour la suite nous allons nous intéresser aux deux principaux prédateurs en Europe à savoir les chats domestiques et les rapaces.

Prédation par les chats domestiques (*Felis silvestris catus*)

Importance de la prédation par les chats

Les chats domestiques sont responsables d'un grand nombre d'actes de prédation que ce soit parmi les mammifères, les oiseaux ou les reptiles.

En Grande Bretagne une étude a estimé que les 9 millions de chats vivant sur le territoire étaient responsables de plus de 221 millions de morts par prédation par an dont environ 400 000 chiroptères (Speakman, 1991). On trouve également plusieurs témoignages de chats s'étant spécialisés dans la prédation des chiroptères (Ancillotto et al., 2013). Ainsi dans une grotte au Porto Rico des chats ont été observés, pendant deux ans, chassant quotidiennement les chiroptères installés dans ce gîte. Une analyse des selles présentes sur le site a permis d'affirmer la spécialisation de ces individus par l'absence de restes d'autres vertébrés (Rodríguez-Durán et al., 2010). Une autre étude en Nouvelle Zélande rapporte la mort en 7 jours d'au moins 102 chiroptères au pied de leur gîte attribuée à un chat haret (Scrimgeour et al., 2012).

Même si les chauves-souris ne représentent qu'une très faible part des proies chassées et consommées par les chats (Woods et al., 2003 ; Speakman, 1991), cette prédation a un fort impact sur les populations de chiroptères. En effet en Allemagne entre 2002 et 2009 une étude a mis en évidence que la prédation par les chats était responsable de 15,3% de la mortalité de chauves-souris, en faisant la cause connue principale de mortalité (Mühldorfer, Schwarz, et al., 2011). La prédation par des chats est également la cause principale d'admission des chauves-souris adultes dans des centres de soins de la faune sauvage en Italie (Ancillotto et al., 2013).

Épidémiologie : facteurs de risque

Une étude menée en Italie sur les chiroptères présentés en centre de soins a permis de mieux comprendre l'épidémiologie de la prédation par ces félins en Europe. Il semble que les adultes soient la classe d'âge la plus touchée et que les femelles soient significativement plus concernées alors qu'on ne trouve pas de différence significative entre les sexes pour les autres causes d'admission en centre de soin (Ancillotto et al., 2013).

La mortalité globale augmente en milieu d'été mais les prédatations par les chats sont décrites toute l'année avec une augmentation des occurrences entre mai et septembre.

Les espèces les plus retrouvées sont celles vivant proche de l'Homme puisque 80% appartiennent à des espèces anthropophiles. Toutefois des espèces vivant dans des grottes ou des arbres sont aussi concernées. Enfin on peut noter une plus grande détection dans les espaces ruraux. Il faut garder à l'esprit que cette étude s'est faite sur les individus trouvés et pris en charge par des centres de soin, il y a donc un biais d'observation important qui exclut les chiroptères prédatés dans des lieux avec une pression d'observation moindre et ceux ingérés. Ainsi d'autres observations, réalisées directement dans ou aux alentours des gîtes, ne mettent pas en évidence de différence de prédation entre adultes et juvéniles (Rodríguez-Durán et al., 2010).

Dans la littérature on retrouve plusieurs descriptions de prédation de félins sur des chiroptères, ces observations directes permettent de préciser certaines des affirmations précédentes. Ainsi, la technique de chasse semble être universelle : les chats attrapent les chiroptères lorsqu'ils sont en vol, majoritairement dans ou à la sortie du gîte (Irwin, Speakman, 2003 ; Rodríguez-Durán et al., 2010 ; Scrimgeour et al., 2012 ; Universidade Federal de Alagoas, Costa-Pinto, 2020). Aucune observation de prédation sur un individu au sol n'a été décrite et très peu de consommations post-mortem ont été observées que ce soit par des chats ou des charognards (Rodríguez-Durán et al., 2010).

Ces premières observations permettent de comprendre pourquoi on retrouve majoritairement des adultes ou des jeunes volants et très peu de nouveau-nés ou juvéniles non volants, les chats prédatant surtout les chiroptères en vol.

Comportement de prédation et lésions post-mortem associées

L'observation directe de prédation par des chats a permis de mieux comprendre les lésions que l'on pouvait observer.

Lorsque les félins parviennent à attraper et à tuer une chauve-souris, ils consomment le corps en laissant tomber les ailes et parfois les pattes, qui sont alors les seuls restes observés dans la majorité des cas (Rodríguez-Durán et al., 2010 ; Scrimgeour et al., 2012 ; Universidade Federal de Alagoas, Costa-Pinto, 2020). Cependant certains individus, notamment les jeunes chats, ont tendance à consommer l'intégralité de leur proie et à ne laisser aucun reste (Rodríguez-Durán et al., 2010).

Il est à noter que les chats ne consomment pas toujours la totalité des individus qu'ils ont tués sans qu'une raison ne soit à ce jour connue. Sur les cadavres entiers on peut alors retrouver des signes de traumatismes tels que des fractures, des hématomes ou

des hémorragies internes ainsi que des perforations dues aux crocs sur les ailes ou le corps (Scrimgeour et al., 2012 ; Ricardo, Rocha, 2015 ; Ancillotto et al., 2013). La distance entre les canines peut dans certain cas aider à identifier le responsable (Scrimgeour et al., 2012 ; P. O'B. LYVER, 2000).

De nombreuses études ont mis en évidence une corrélation entre des chiroptères morts par septicémie, en particulier à *Pasteurella multocida* et la prédation par un chat. Dans une étude rétrospective sur les chiroptères autopsiés entre 1990 et 1994, 22% des chauves-souris avait succombé à une septicémie due à *Pasteurella multocida* et la totalité d'entre elles montrait des signes de morsures probablement dues à des chats (Simpson, 2000). En Allemagne 83% des chiroptères pour lesquelles *Pasteurella multocida* a été isolée avaient des traumatismes évoquant une prédation, qui a été confirmée dans 24% des cas (Mühldorfer, Speck, Wibbelt, 2011). Cependant des études aux États-Unis recensent des cas de septicémie à *Pasteurella* sp. en l'absence de tout signe de traumatisme (Blehert et al., 2014).

La prédation par les chats semble donc être responsable de la mort de chiroptères directement par traumatisme et consommation mais aussi indirectement par septicémie suite aux morsures (Talan et al., 1999).

Conclusion épidémiologique : orientation pour suspicion

La prédation par les chats est la cause principale de morbidité et de mortalité clairement identifiée pour les chiroptères que ce soit par consommation, traumatisme ou septicémie.

Elle concerne essentiellement les individus volants à proximité ou dans les gîtes, en particulier lors des périodes de maternité. Les espèces les plus touchées sont les espèces anthropophiles donc côtoyant des chats domestiques.

Les indices laissant suspecter la prédation par le chat domestique sont la présence de restes sur le site ou à proximité et en particulier des ailes. La présence de poils ou de selles de chats peut également être recherchée et analysée. Si des individus sont retrouvés entiers, on va principalement observer des signes de traumatisme tels que des fractures, des déchirures du patagium, des hématomes et hémorragies internes ainsi que des perforations laissées par les crocs. L'espace entre les canines peut, sur des individus frais, aider à identifier le responsable. En effet une étude sur des oiseaux a mis en avant l'intérêt de l'analyse des traces de morsure pour déterminer les espèces responsables de prédation. Ainsi un espace inter-canine supérieur à 13,6 mm est le plus probablement attribuable à un chat.

Lors de diagnostic de septicémie à *Pasteurella multocida* il est intéressant de bien chercher la présence de traumatisme antérieurs pouvant en être à l'origine.

Prédation par les oiseaux

Importance de la prédation par les oiseaux

Les oiseaux et en particulier les rapaces nocturnes sont, après les chats, les prédateurs principaux des chiroptères dans le monde. D'après une étude rétrospective sur l'alimentation des rapaces nocturnes en Europe l'Effraie des clochers (*Tyto alba*) se place première avec 47,1 % des captures puis la Chouette hulotte (*Strix aluco*) avec 41,9% et le Hibou moyen-duc (*Asio otus*) avec 7,8% (Speakman, 1991 ; Sieradzki, Mikkola, 2020). Il est toutefois intéressant de noter que d'autres espèces d'oiseaux ont été observées en train de chasser et de consommer des chiroptères notamment des espèces diurnes (Speakman, 1991 ; DeCANDIDO, Allen, 2006 ; Mikula, 2015 ; Brighton et al., 2020) comme des corbeaux (Tanalgo et al., 2019) ou même des mésanges charbonnières (*Parus major*) (Estók et al., 2010).

Une étude en Grande Bretagne a permis d'estimer que chaque année environ 200 000 chiroptères étaient tués par des oiseaux sur le territoire (Speakman, 1991). Toutefois comme pour les chats, les chauves-souris représentent une très faible part dans l'alimentation de ces prédateurs (Kasprzyk, 2004 ; Grzegorz LESIŃSKI1, 2008 ; Lesiński et al., 2009). Le comportement opportuniste de l'Effraie des clochers et de la Chouette hulotte ainsi que d'autres espèces envers les chiroptères a été clairement établi par différentes études (PEREZ-BARBERIA, 1991 ; Grzegorz LESIŃSKI1, 2008 ; Lesiński et al., 2009 ; Robert S. SOMMER, 2009).

L'importance de la prédation par des rapaces sur les chiroptères est moins évidente que celle par des chats car il y a moins d'évocation d'individus secourus à la suite de ces attaques. Toutefois une étude a permis d'estimer qu'elle était à l'origine d'environ 11 % de la mortalité des chiroptères en Grande Bretagne (Speakman, 1991).

Des prédateurs récurrentes sur des gîtes de maternité ont abouti à une diminution importante de la taille de colonies (Spitzemberger, 2014) ainsi qu'à des effets négatifs sur les comportements de reproduction (Robert S. SOMMER, 2009).

Épidémiologie : facteurs de risque

La prédation par des oiseaux se concentre essentiellement à proximité des sites réputés avoir une grande concentration de chauves-souris tels que les gîtes, qu'ils soient d'hibernation ou de reproduction (Grzegorz LESIŃSKI1, 2008 ; Robert S. SOMMER, 2009 ; Estók et al., 2010 ; Mikula et al., 2016 ; Brighton et al., 2020).

En ce qui concerne la technique de chasse, elle diffère selon les espèces mais on retrouve majoritairement le même schéma avec une capture en vol à proximité de la sortie des gîtes (Baker, 1962 ; Marek Kowalski & Grzegorz Lesiński, 1990 ; Robert S. SOMMER, 2009 ; Brighton et al., 2020 ; Sieradzki, Mikkola, 2020). Les rapaces nocturnes ont été plusieurs fois observés à l'affût à l'entrée de gîte de chiroptères, tentant d'attraper les chauves-souris en vol en particulier lors de leur retour de chasse (Baker, 1962 ; Spitzemberger, 2014).

Même si aucune description de rapace nocturne entrant dans les gîtes n'a été faite (Spitzemberger, 2014) on peut évoquer l'observation d'espèces diurnes chassant directement dans les colonies. C'est le cas, par exemple, de corbeaux dans l'archipel des Philippines pour lesquels une chasse en groupe reposant sur le dérangement des chiroptères dans leur gîte a été décrite (Tanalgo et al., 2019). Des mésanges charbonnières ont aussi été observées rentrant dans des gîtes d'hibernation à la recherche de chiroptères lors de périodes de faible disponibilité alimentaire en Hongrie (Estók et al., 2010).

Il semble que les chiroptères de la famille des *Molossidae* et *Vespertilionidae* sont les plus vulnérables à la prédation par des oiseaux (Kasprzyk, 2004 ; Lesiński et al., 2009 ; Mikula et al., 2016), mais les espèces de chiroptères chassées varient en fonction du lieu de vie ce qui confirme le caractère opportuniste de la prédation par les rapaces (Grzegorz LESIŃSKI^{1,*}, Krzysztof KASPRZYK² and Jakub GRYZ³, 2012). Par exemple il a été montré que l'Effraie des clochers et la Chouette hulotte consomment plus de chiroptères dans les zones anthropisées (Lesiński et al., 2009). Pour expliquer ce fait la première hypothèse est que les rapaces vivant dans ces milieux partagent souvent les mêmes gîtes que les chiroptères (greniers, toitures), ce qui rend la prédation plus probable. La deuxième est que les rapaces vivant en zones urbanisées ont plus de difficultés à trouver leurs proies habituelles tels que les amphibiens et ils se rabattent alors sur des proies alternatives et notamment les chiroptères.

La prédation se faisant principalement en vol (Baker, 1962 ; Marek Kowalski & Grzegorz Lesiński, 1990 ; Robert S. SOMMER, 2009 ; Brighton et al., 2020 ; Sieradzki, Mikkola, 2020) les juvéniles non volants seraient moins exposés. Les chouettes effraies ainsi que d'autres rapaces ont été observées chassant préférentiellement à proximité des gîtes de reproduction à la période où les juvéniles effectuent leur premiers vols et que les mères sont les plus vulnérables (KJ PETRŽELKOVÁ, J OBUCH, J ZUKAL, 2004 ; Spitzemberger, 2014 ; Brighton et al., 2020 ; Sieradzki, Mikkola, 2020). Toutefois quelques études remettent en cause ces conclusions et indiquent que les chouettes effraies capturent fréquemment des chauves-souris non volantes (Sieradzki, Mikkola, 2020).

Présentation clinique et lésions post-mortem

Dans la littérature il apparaît que les oiseaux consomment leurs proies perchés à proximité du gîte, très rarement directement sur le site de capture (Baker, 1962 ; Estók et al., 2010 ; Spitzemberger, 2014 ; Tanalgo et al., 2019 ; Brighton et al., 2020) Il est difficile de trouver un schéma récurrent dans la manière de consommer les chiroptères chez les différentes espèces d'oiseaux. Certaines études décrivent des rapaces diurnes en train de manger l'intégralité des chiroptères directement en vol ou perchés (Brighton et al., 2020 ; Tanalgo et al., 2019) alors que d'autres décrivent des chouettes retirant les ailes avant de manger le corps (Baker, 1962). De plus des humérus et des métacarpes ont déjà été retrouvés dans des pelotes de réjection (Kasprzyk, 2004 ; Lesiński et al., 2009 ; Robert S. SOMMER, 2009 ; Grzegorz LESIŃSKI^{1,*}, Krzysztof KASPRZYK² and Jakub GRYZ³, 2012), signes que les rapaces avalent les ailes. Les passereaux ont été décrits comme consommant en premier la tête et le dos puis les organes internes et les muscles ne laissant que la peau et les os (Estók et al., 2010).

Conclusion épidémiologique : orientation pour suspicion

La prédation par des rapaces est également une cause fréquente de mortalité chez les chiroptères d'Europe même si elle reste opportuniste.

Elle a lieu majoritairement en sortie de gîte sur des individus volants et concerne essentiellement les chauves-souris vivant à proximité de rapaces nocturnes. Cette prédation peut toucher toutes les catégories de chiroptères mais on peut noter une plus grande pression de prédation, notamment par les chouettes effraies, en fin de période de maternité sur les femelles et les juvéniles faisant leurs premiers vols.

Contrairement aux chats il semble moins probable de retrouver des restes de carcasses sur place. Le diagnostic va essentiellement reposer sur la recherche de plumes et l'analyse de pelote de réjection que l'on peut retrouver à proximité des gîtes concernés.

Les pelotes de réjection sont produites entre autres par les rapaces et les corvidés et contiennent les restes non digérés des repas précédents. La dissection des pelotes de réjection est largement utilisée dans un grand nombre d'études pour identifier le prédateur (Robert S. SOMMER, 2009) ainsi que les chiroptères consommés, principalement grâce à l'identification des crânes (Kasprzyk, 2004 ; Lesiński et al., 2009 ; Robert S. SOMMER, 2009 ; Grzegorz LESIŃSKI^{1,*}, Krzysztof KASPRZYK² and Jakub GRYZ³, 2012). Cette technique a été remise en cause car on craignait une sous-estimation des proies et une plus faible probabilité de retrouver les petites espèces de chiroptères ou les juvéniles. Cependant une revue de toutes les occurrences de chiroptères retrouvées dans des pelotes de réjection de chouettes a prouvé que même des chiroptères de petite taille pouvaient être trouvés (Sieradzki, Mikkola, 2020) ainsi que des juvéniles, identifiables à leur dentition (KJ PETRŽELKOVÁ, J OBUCH, J ZUKAL, 2004). Le biais de cette technique semble donc plus faible que supposé ce qui en fait une technique de référence.

Éoliennes

Agent causal

Les éoliennes sont une source d'énergie alternative à l'énergie fossile qui connaît actuellement un grand essor et ce depuis les années 70 (Arnett and al., 2007 ; JOHNSON et al., 2003). Au 31 décembre 2018 la France était le quatrième pays d'Europe en termes de puissance totale raccordée, derrière l'Allemagne, l'Espagne et le Royaume-Unis. Pour atteindre cette capacité éolienne terrestre la France comptait en juin 2019 un total de 1 855 sites sur le territoire métropolitain et 13 en Outre-mer, pour une puissance totale de 15 757 MW. Les objectifs inscrits dans la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie pour la France, prévoient une puissance éolienne terrestre de 24 600 MW en 2023 et de plus de 34 100 MW en 2028, ce qui s'accompagnera de la création de nouveaux parc éoliens. (Site : le Journal de l'éolien ; <http://www.journal-eolien.org/tout-sur-l-eolien/la-puissance-eolienne-en-france/>)

Quelques temps après les premières installations une mortalité anormale d'oiseaux a été observée et étudiée sur les sites éoliens terrestres à travers le monde. Toutefois, il s'est rapidement avéré que les chiroptères étaient bien plus touchés que les oiseaux (JOHNSON et al., 2003 ; Dürr et Bach, 2004 ; Barclay et al., 2007 ; Horn et al., 2008). Dès les années 2000, la communauté scientifique s'est interrogée sur l'impact que pouvaient avoir les installations éoliennes sur les populations de chiroptères et a essayé de comprendre les raisons de cette mortalité pour tenter de la limiter (BACH and RAHMEL, 2004).

Épidémiologie : facteurs de risque

Les nombreuses études menées sur ce sujet ont tenté de mettre en évidence le profil des individus tués, les caractéristiques des structures responsables et notamment les critères d'attractivité de ces lieux. Pour cela de nombreuses méthodes de suivi de la mortalité et de la fréquentation de ces sites ont été utilisées telles que la recherche active de cadavres, l'utilisation de caméras thermiques, l'enregistrement des cris d'écholocation ou des radars. Même si de nombreuses questions restent encore sans réponse quelques tendances et hypothèses ont pu être formulées.

Facteurs prédisposants l'approche

Les observations directes montrent que de nombreux oiseaux survolent les sites mais que peu d'entre eux s'en approchent contrairement aux chiroptères qui représentent 79% des espèces observées par les caméras thermiques à proximité des éoliennes. Quarante-huit pour cent d'entre eux sont en phase d'approche active de la structure ce qui confirme l'hypothèse soutenue par de nombreux scientifiques que les chiroptères sont attirés par les éoliennes. D'après les cris d'écholocation enregistrés, la grande majorité des chauves-souris s'approchant activement des éoliennes sont des espèces arboricoles. Les conditions environnementales telles que la température ou la pression n'ont pas d'influence sur l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes. Toutefois on note une plus forte activité lors de vent faible et une plus grande fréquentation à proximité des éoliennes avec une vitesse de rotation faible voire nulle (Cryan et al., 2014 ; BACH and RAHMEL, 2004).

Faces à ses observations plusieurs hypothèses ont été émises pour expliquer l'attraction des éoliennes sur les chiroptères. La première évoque l'émission d'ultrasons notamment par le moteur qui pourrait les perturber ou les attirer. Toutefois les chauves-souris n'approchent pas plus le moteur qu'un autre composant de la structure (Kunz et al., 2007 ; Horn et al., 2008).

La deuxième hypothèse propose que les individus sont à la recherche de proies. De nombreux arguments viennent appuyer cette théorie tels que l'observation d'une approche majoritairement sous le vent, comme lors de chasse à flanc de falaise ou en forêt, l'enregistrement de vol de poursuite et de capture ou bien une corrélation entre la présence d'insectes et l'activité des chiroptères à proximité des éoliennes (BACH and RAHMEL, 2004 ; Horn et al., 2008 ; Cryan et al., 2014). L'analyse du contenu digestif de *Lasiurus cinereus*, retrouvées mortes au pied d'éoliennes, montre que la majeure partie avait mangé très récemment même si aucun insecte n'a été retrouvé dans la bouche ou dans l'œsophage. De plus la composition habituelle du contenu digestif exclu l'hypothèse d'une population d'insecte particulière aux abords des éoliennes qui pourrait attirer les chiroptères (Grotsky et al., 2011 ; Valdez and Cryan, 2013).

En revanche, même si les insectes semblent attirés par la chaleur du moteur ou les lumières de signalement aériens, aucune tendance des chiroptères à aller vers ces zones en priorité n'a été détectée (Dürr et Bach, 2004 ; JOHNSON et al., 2003 ; Horn et al., 2008). De plus certaines études, malgré la présence d'insectes, n'ont observé aucun comportement de prédation ni cris de chasse (Cryan et al., 2014).

La troisième hypothèse est que les chiroptères s'approchent des éoliennes à la recherche d'un gîte. En effet un grand nombre de vols observés étaient similaires à ceux de reconnaissance et de tentative d'atterrissage observés à proximité de gîte (Cryan et al., 2014 ; Horn et al., 2008).

Une quatrième hypothèse suggère que les chiroptères seraient à la recherche d'interactions sociales même si très peu de duos ont été observés et seulement un cri de sociabilisation enregistré lors d'une étude (Cryan et al., 2014).

Enfin une hypothèse reprend les trois dernières en suggérant que les chiroptères confondent les éoliennes avec des arbres (Arnett et al., 2008 ; Kunz et al., 2007 ; Andreia Garcês, 2017 ; Horn et al., 2008 ; Cryan et al., 2014). Leur taille et leur silhouette seraient semblables et les courants d'air à proximité des éoliennes tournant doucement seraient similaires (Cryan et al., 2014). Une augmentation de l'activité des chauves-souris a également été observée aux mêmes périodes à proximité de grandes tours, laissant supposer que ce ne sont pas les éoliennes elles-mêmes qui attirent mais bien leur forme (JOHNSON et al., 2003 ; Jameson, Willis, 2014). Les arbres étant pour les espèces arboricoles des lieux de gîtes, de chasse et d'interactions sociales, toutes les observations précédentes confirmeraient cette hypothèse. Même s'il n'a pas encore été démontré que les ressources étaient réellement plus importantes au niveau des éoliennes, cela ne contredit pas cette hypothèse car les chiroptères pourraient s'en approcher dans l'espoir d'en trouver (Cryan et al., 2014).

Facteurs prédisposants la mortalité

Quel que soit le continent, les chiroptères tués par les éoliennes sont principalement des espèces migratrices et/ou arboricoles bien que d'autres espèces soient également touchées (JOHNSON et al., 2003 ; Dürr et Bach, 2004 ; BACH and RAHMEL, 2004 ; Arnett, 2005 ; Arnett and al., 2007 ; Barclay et al., 2007 ; Arnett et al., 2008 ; Grodsky et al., 2011 ; Valdez and Cryan, 2013 ; Cryan et al., 2014). En Europe, on recense 14 espèces victimes des installations éoliennes, les plus touchées étant *Nyctalus noctula*, et *Pipistrellus nathusii*, toutes deux des espèces migratrices et arboricoles, ainsi que *Pipistrellus pipistrellus* (BACH and RAHMEL, 2004 ; Dürr et Bach, 2004). Aux États-Unis et au Canada on retrouve principalement *Lasiurus cinereus* et *Lasiurus borealis* (JOHNSON et al., 2003).

Il ne semble pas y avoir de différence significative entre les sexes des individus retrouvés morts même si lors de certaines observations la proportion de mâles était plus importante. S'il paraîtrait logique que les juvéniles soient plus prédisposés à entrer en collision avec les éoliennes du fait de leur faible expérience de vol, aucun schéma n'a été mis en évidence sur l'âge des individus (hormis le fait qu'ils sont nécessairement volants) (JOHNSON et al., 2003 ; Arnett et al., 2008).

En ce qui concerne la période de l'année, la majorité des études évoque un pic de mortalité à la fin de l'été et au début de l'automne ce qui correspond aux périodes de fin de maternité et début de swarming et de migration (Annexe 1) (JOHNSON et al., 2003 ; Dürr et Bach, 2004 ; BACH and RAHMEL, 2004 ; Arnett et al., 2008 ; Horn et al., 2008 ; PAUL M. CRYAN, 2009 ; Arnett et al., 2011 ; Valdez and Cryan, 2013 ; Cryan et al., 2014 ; MacGregor, Lemaître, 2020). Toutefois il est important de mentionner que très peu de surveillance sont effectuées sur le reste de l'année ce qui entraîne un fort biais d'observation (Dürr et Bach, 2004).

Certaines conditions météorologiques comme un vent faible sont associées à une plus forte mortalité (Arnett et al., 2011).

En s'intéressant plus en détail aux installations, une étude canadienne a mis en évidence un plus grand taux de mortalité dans les fermes éoliennes du Sud du pays que dans celles du Nord (MacGregor, Lemaître, 2020). Toutefois au sein même d'une installation la position des éoliennes ne semble pas influencer le nombre de morts (Arnett et al., 2008 ; 2011), mais la distribution des espèces retrouvées semble différer au sein de l'installation et en particulier en fonction de la distance avec la végétation en bordure. Ainsi un plus grand nombre de pipistrelles a été retrouvé à proximité des haies encadrant les sites contrairement aux noctules retrouvées majoritairement au centre des sites (BACH and RAHMEL, 2004).

Enfin la vitesse de rotation des turbines et la hauteur de l'éolienne ont des effets sur la mortalité. Il a été prouvé que les éoliennes dont la vitesse est réduite entraînent moins de mortalité que celle tournant à plein régime (Arnett, 2005 ; Horn et al., 2008 ; Arnett et al., 2011). De même la mortalité augmente exponentiellement avec la hauteur de la tour ; l'une des hypothèses est que les hélices entrent dans les couloirs aériens de haute altitude empruntés par les espèces migratrices (Barclay et al., 2007).

Les observations ont aussi permis d'enregistrer des évitements et des collisions, exclusivement sur des structures en mouvement à faible vitesse de rotation pour des individus s'en approchant volontairement. Même si 72 % des chiroptères ayant évité une fois les hélices s'en éloignent, 27% d'entre eux continuent de s'en approcher ou les poursuivent (Horn et al., 2008 ; Cryan et al., 2014). Toutefois des cadavres ont été

retrouvés sans enregistrement de collision ou d'évitement. Une étude suggère que les chauves-souris se font percuter lors des phases d'accélération des éoliennes ce qui expliquerait pourquoi peu de chauves-souris sont observés proches des éoliennes tournant à plein régime mais qu'autant de morts y sont recensés (Cryan et al., 2014). Il pourrait également y avoir deux populations différentes touchées : celles qui s'approchent des éoliennes et celles qui les survolent et se font percuter par les hélices pénétrant dans leur couloir aérien (Barclay et al., 2007).

Compréhension des collisions

La dernière interrogation des scientifiques est de comprendre pourquoi, malgré leur forte précision de détection, les chiroptères ne parviennent pas à éviter les hélices (Dürr et Bach, 2004). Même si cela est décrit, très peu d'observations font état de collision avec des objets fixes, et toutes les collisions décrites ont eu lieu avec des éoliennes en mouvement (Horn et al., 2008 ; Cryan et al., 2014). Les chiroptères disposent de nombreux sens performants pour se déplacer. Le plus connu est l'écholocation mais il semble que la vue et la perception des courants d'air soient très utilisées lors de leurs vols et des migrations (Dürr et Bach, 2004 ; Cryan et al., 2014 ; JOHNSON et al., 2003).

Si un individu utilise l'écholocation lors de l'approche d'une éolienne tournant à 7,5 m/s des chercheurs ont estimé qu'il n'aurait que 0,25 secondes pour éviter les hélices difficilement repérables plus tôt (Grotsky et al., 2011).

L'augmentation d'activité à proximité des éoliennes lors de pleine lune permettant une meilleure visibilité des structures suggère que les chiroptères utilisent principalement la vue ce qui rejoindrait l'hypothèse de confusion entre les éoliennes et des arbres. Toutefois la précision de la vision des chiroptères n'est pas connue mais pourrait ne pas suffire à détecter les hélices en mouvement (Cryan et al., 2014).

L'approche systématique des éoliennes sous le vent et la découverte de cellules dermiques adaptées semblent confirmer que les chiroptères peuvent ressentir les courants d'air et les utilisent dans leur déplacement. Même si les connaissances sur la précision de ce sens sont encore très limitées, cela pourrait expliquer que peu d'entre elles s'approchent des éoliennes avec une forte vitesse de rotation.

L'observation de pipistrelles modifiant leur trajectoire de chasse pour éviter la zone de passage des hélices et l'enregistrement de nombreuses manœuvres d'évitement prouvent que la détection est possible (BACH and RAHMEL, 2004), mais au-delà d'une certaine vitesse il semble que les chiroptères aient beaucoup de mal à éviter les hélices en rotation. Toutefois éviter la collision ne signifie pas ne pas être blessé car comme nous allons le détailler ensuite le barotraumatisme, soit les dommages internes liés à une trop forte différence de pression externe, est fortement suspecté dans ce type de mortalité (Baerwald et al., 2008).

Morbidité et mortalité

Les éoliennes tuent les chiroptères par collision mais les barotraumatismes semblent être aussi responsables.

Le barotraumatisme est lié à une forte diminution de pression externe qui entraîne une expansion de l'air contenu dans l'organisme. Les pressions nécessaires pour causer des lésions sur des chauves-souris ne sont pas connues mais une différence de pression de 4,4 kPa s'est avérée mortelle pour des rats (*Rattus norvegicus*), les chutes

de pressions pouvant varier entre 5 et 10 kPa à proximité des hélices. L'hypothèse du barotraumatisme pourrait expliquer en partie pourquoi autant de chauves-souris ne détectent pas le danger et pourquoi on retrouve plus de chiroptères que d'oiseaux dans les victimes (Baerwald et al., 2008). En effet l'anatomie respiratoire des oiseaux les rend moins sensibles aux barotraumatismes alors que les chauves-souris ont des adaptations au vol - larges poumons et cœur, sang avec une haute capacité de transport de l'oxygène, parois alvéolaires très fines (Maina, King, 1984) - qui les rendent particulièrement sensibles aux barotraumatismes.

Enfin ces chutes de pressions pourraient entraîner des lésions du système auditif des chiroptères. En plus de l'ataxie que peut entraîner une lésion de l'oreille interne chez la plupart des mammifères, l'atteinte du système auditif peut être fatal à court terme pour les chauves-souris qui utilisent l'écholocation pour se nourrir et s'orienter (Grotsky et al., 2011).

Le nombre de mort directement dues aux éoliennes est difficile à estimer. Seulement 71% des carcasses sont retrouvées à moins de 35m du pied (JOHNSON et al., 2003 ; Horn et al., 2008 ; Grotsky et al., 2011 ; Cryan et al., 2014 ; MacGregor, Lemaître, 2020)(Grotsky et al., 2011). Certains individus parviennent encore à voler et à s'éloigner de la structure tandis d'autres sont encore vivants une fois au sol et peuvent se déplacer.

D'autre part de nombreux facteurs peuvent compliquer leur découverte tels que le prélèvement par les charognards, leur taille ou le camouflage par la végétation. De nombreuses expériences avec des cadavres de chauves-souris, d'oiseaux et de souris ont évaluées le temps de persistance et l'efficacité des découvreurs. Ainsi un corps de chiroptères semble rester en place entre 1,9 à 12 jours avec une moyenne de 10,4 jours tandis que les corps d'oiseaux restent plus longtemps avec un maximum de 28 jours. Le taux de découverte varie de 25 à 75% selon les études et le couvert végétal. Les chiens de détection, eux, obtiennent un meilleur score avec près de 80% de découverte (JOHNSON et al., 2003 ; Arnett and al., 2007 ; Arnett et al., 2008 ; MacGregor, Lemaître, 2020).

Ainsi bien que les chiroptères tués par des éoliennes ne soient pas tous retrouvés, de nombreuses études à travers le monde ont réussi à estimer la mortalité due aux installations.

Le nombre de chiroptères tués par turbine par an varie selon les sites, les pays et les périodes d'observations avec des valeurs allant de 0 à 40 et des moyennes aux alentours de 2 (JOHNSON et al., 2003 ; Dürr et Bach, 2004 ; Barclay et al., 2007). Ce compte varie aussi en fonction de la vitesse de rotation des pales pouvant aller de 0,73 victimes par turbine et par mois à 2,29 à pleine vitesse (Arnett et al., 2011). Certaines études comptent en nombre de morts par mégawatt par turbine ce qui peut alors varier de 0,9 à 53,3 (Arnett and al., 2007).

D'après les observations directes, la fréquentation des éoliennes par les chauves-souris serait de 6 à 99 individus par nuit et par turbine selon les sites. Le nombre de morts serait donc assez faible si l'on considère la fréquentation et le taux de mortalité. Toutefois il est difficile de correctement évaluer le nombre de morts dues aux éoliennes, car aux impacts directs s'ajoutent des modifications importantes de l'habitat qui ont de grandes conséquences sur certaines populations. Par exemple en Allemagne il a été observé que les sérotines désertaient leurs anciens terrains de chasses où se trouvent maintenant des éoliennes alors que les pipistrelles elles les ont envahis. De même les noctules ont détourné leurs couloirs de circulation pour

éviter de passer au-dessus des champs d'éoliennes. Les conséquences de ces changements sont difficilement quantifiables mais certainement non négligeables (BACH and RAHMEL, 2004).

Signes cliniques et lésions post-mortem

Selon certaines études le lieu de découverte du cadavre peut constituer un premier indice pour comprendre le mécanisme de la mort. Les individus tués par une collision directe tombent à proximité de la structure contrairement à celle ayant subi un barotraumatisme et pouvant encore voler sur de courte distance (Voigt et al., 2015). Toutefois une collision directe suivie de l'envol de l'individu a déjà été observée et des signes de barotraumatisme ont déjà été retrouvés sur des cadavres retrouvés sous des éoliennes.

Radiologie

Lors des examens radiologiques la proportion de chauves-souris retrouvées sous des éoliennes présentant des fractures varient entre 58 et 74%, ce qui est très élevé en comparaison avec les traumatismes par collision de bâtiment (9-18% de fractures) (Grotsky et al., 2011 ; Rollins et al., 2012). Ce pourcentage est 33% fois supérieur à celui formulé sur le terrain après inspection visuelle, d'où l'intérêt de réaliser des radiographies (Grotsky et al., 2011).

Les fractures touchant les ailes sont les plus fréquentes et concernent pour 38% l'humérus, et 26% le radius, et sont souvent multiples. On retrouve également des fractures du crâne (21%), de la scapula, des vertèbres lombaires, des côtes et du sternum, ou du pelvis alors que les jambes sont souvent épargnées (JOHNSON et al., 2003 ; Grotsky et al., 2011). Sur les 39 cas radiographiés pour l'étude précédemment citée, 31% présentaient une hernie diaphragmatique.

Une expérience consistant à laisser tomber des cadavres du haut d'une nacelle a montré que 80% des cadavres ne présentaient aucune nouvelle fracture décelable à la radiographie, ce qui signifie que les fractures font le plus souvent suite à une collision directe plutôt qu'à une chute (Grotsky et al., 2011).

Autopsie

À l'examen externe, des signes de traumatismes externes tels que des fractures ou des lacérations peuvent être observés et sont plus fréquents que lors de collision avec des objets fixes (Baerwald, [sans date] ; Rollins et al., 2012)

Des hémorragies sous-cutanées sont détectées dans environ 41% des cas et leur distribution est comparable à celles des fractures ce qui laisse supposer qu'elles sont liées aux traumatismes (Rollins et al., 2012). Les lésions internes les plus fréquentes sont le pneumothorax (42%), l'hémithorax (39%), souvent concomitants, et des hernies inguinales et diaphragmatiques (30%) (Grotsky et al., 2011). Des embolies de moelles osseuses peuvent être retrouvés dans 29% des cas (Rollins et al., 2012). En médecine légale leur présence est utilisée pour connaître le délai entre le traumatisme et la mort. En effet si la mort est rapide, l'embolie ne peut pas circuler d'où leur plus faible présence chez les individus avec de multiples fractures (Rollins et al., 2012). Les individus sont généralement en bon état nutritionnel et n'ont pas montré de signes d'autres maladies sous-jacentes (Grotsky et al., 2011).

Histologie

L'histologie du tissu pulmonaire permet le diagnostic des barotraumatismes. En effet sur 90% des individus on y trouve des signes compatibles avec un barotraumatisme alors que seulement la moitié des individus présentent des signes de traumatisme externe. Les principales lésions observées sont des hémorragies et œdèmes dans les espaces aériens, une congestion vasculaire et la présence de bulles interstitielles (Baerwald et al., 2008).

Toutefois ces affirmations sont nuancées par une étude de 2012. Lors de celle-ci une expérience sur des souris de laboratoire euthanasiées a permis d'estimer les modifications tissulaires post-mortem des poumons dans différentes conditions environnementales et à la suite de congélation. Un œdème pulmonaire, défini comme l'accumulation de matériel séro-protéique éosinophilique dans les espaces aériens suite à une atteinte de l'intégrité cellulaire de l'endothélium et/ou de l'épithélium des cloisons alvéolaires, était significativement plus observé sur des cadavres après 24h à 22°C, après 2h à 33°C ou après une congélation que sur des cadavres frais (Rollins et al., 2012). Une autre étude sur des lapins a prouvé que l'œdème pulmonaire ne pouvait pas être considéré comme ante-mortem à moins que l'autopsie ne se fasse immédiatement après la mort (Durlacher et al., 1950). Une hémorragie pulmonaire, définie comme l'extravasation d'érythrocytes dans des tissus, a été observée en plus grande proportion sur les cadavres non analysés immédiatement, ainsi que sur ceux congelés. La présence de bulles interstitielles n'a pas été étudiée mais les bactéries se développant lors de la putréfaction produisent du gaz ce qui peut aboutir à ce genre d'artefact (Rollins et al., 2012).

Cette étude suggère donc que les lésions observées à l'histologie lors de l'étude de Baerwald (2008), bien que pouvant correspondre théoriquement à des signes de barotraumatisme, sont aussi des modifications post-mortem courantes.

L'examen du canal auditif, que ce soit par histologie ou pas visualisation directe du tympan, peut être une meilleure approche pour rechercher des signes de barotraumatisme, le tympan étant généralement le premier organe touché lors d'un changement de pression suivi par les poumons (Grotsky et al., 2011 ; Rollins et al., 2012). L'histologie a mis en évidence dans 52% des cas des hémorragies moyennes à sévères dans l'oreille moyenne et interne (Grotsky et al., 2011). Le tympan était perforé dans 20% des cas et pour 6% de ces cas aucun signe de traumatisme extérieur n'était visible (Rollins et al., 2012).

L'importance du barotraumatisme dans les causes de mortalité des chiroptères à proximité des éoliennes est remise en question par certaines études alors que beaucoup confirment la présence de traumatismes externes causés par une collision. Il est probable que les deux phénomènes se produisent et se succèdent (Baerwald et al., 2008 ; Grotsky et al., 2011 ; Rollins et al., 2012).

Conclusion épidémiologique : orientation pour suspicion

Les éoliennes constituent une des principales causes de mortalité chez les chiroptères à travers le monde. Ces sites sont attractifs pour ces espèces sans que la raison exacte ne soit encore connue.

Les chauves-souris majoritairement concernées sont les individus volants d'espèces arboricoles ou migratrices de la fin de la période de maternité à l'hibernation.

La radiologie est l'outil de choix pour la visualisation des fractures. Les chauves-souris tuées par des éoliennes ont plus de fractures que celles mortes par collision avec un bâtiment et il a été prouvé expérimentalement que des fractures apparaissent suite à une chute de la hauteur d'une éolienne seulement sur 20% des individus. Les fractures concernent prioritairement les ailes.

L'autopsie permet de compléter la description des traumatismes internes et externes à travers l'observation d'hémithorax, de pneumothorax et de hernies diaphragmatiques ou inguinales. L'inspection du tympan peut donner des indices sur un possible barotraumatisme à condition qu'une fracture du crâne ne puisse pas l'expliquer.

L'histologie des poumons et la visualisation d'œdème, d'hémorragie ou de bulles d'air peut difficilement être considérée comme évocatrice d'un barotraumatisme car ce sont également des modifications post-mortem fréquentes. Toutefois l'histologie du canal auditif peut permettre la visualisation d'hémorragies compatibles avec un barotraumatisme.

La réalisation de radiographies couplées à une autopsie et à une histologie comprenant celle de l'oreille interne sur les chauves-souris retrouvées sous des éoliennes pourraient permettre de référencer au mieux les lésions typiques et celles caractéristiques de barotraumatisme. La recherche de ces lésions peut être étendue à des individus retrouvés en dehors des sites car les distances pouvant être parcourues après ce type de traumatismes sont inconnues à ce jour.

Traumatisme routier

Agent causal

Le réseau routier de France possède 1 103 451 kilomètres de voies diverses dont 11 618 km d'autoroute. Selon une synthèse sur des sections du réseau APPR entre 1991 et 2005 le nombre total de collision entre des véhicules et la faune sauvage est estimé à 1 220 par 100 km par an dont 600 oiseaux. Les routes impactent les populations de chiroptères de différentes manières : par destruction des aires de chasse, fragmentation du territoire, pollution et nuisance sonore ou mortalité directe (Altringham, 2008 ; Russell et al., 2009 ; Lesiński et al., 2011 ; Berthinussen, Altringham, 2012 ; Claireau et al., 2019). On observe que l'activité des chiroptères diminue jusqu'à 5 km des grandes routes, restreignant les territoires de chasse (Berthinussen, Altringham, 2012 ; Claireau et al., 2019). Cela peut avoir des conséquences sur le taux de reproduction comme cela a été démontré sur des femelles murin de Bechstein (*Myotis bechsteinii*) en Allemagne (Kerth, Melber, 2009). Selon une étude en Pologne la

mortalité directe par collision avec des véhicules représente en moyenne 1,5 individus par kilomètre par an (Lesiński, 2007).

Epidémiologie : facteurs de risque

Les espèces de chiroptères touchées varient en fonction des pays et de l'environnement mais une corrélation positive a été mise en évidence entre les espèces volant à basse altitude et celles retrouvées sur les bords de route (Lesiński, 2007 ; Russell et al., 2009 ; Altringham, 2008 ; Berthinussen, Altringham, 2012), même si certaines études ne l'ont pas observé (Lesiński et al., 2011). Les poids lourds, par leur hauteur, sont suspectés d'être les principaux responsables (SETRA, 2009). Les périodes les plus meurtrières se situent entre avril et octobre avec des pics fin juillet et en octobre (Russell et al., 2009 ; Lesiński et al., 2011). Les juvéniles sont plus à risque que les adultes et sont retrouvés en grande partie à la fin de l'été pendant la période d'envol (Lesiński, 2007 ; Altringham, 2008 ; Russell et al., 2009 ; Lesiński et al., 2011). Dans la globalité des études il ne semble pas y avoir d'influence du sexe (Russell et al., 2009 ; Lesiński et al., 2011).

Les chiroptères sont le plus souvent touchés lorsqu'ils tentent de traverser la voie, même si des jeunes sont suspectés de tenter de chasser à proximité de l'asphalte dans certaines conditions (Lesiński et al., 2011).

Selon différentes études, le nombre de cadavres par kilomètre et par an varie en fonction de la structure du paysage avec près de 6,8 individus/km/an détectés sur des routes longeant des bandes forestières, 2,7/km/an sur des routes traversant des forêts, et de 0,9 à 0,7/km/an dans des zones résidentielles suburbaines ou des aires dégagées (Lesiński, 2007). Ces chiffres varient aussi selon la fréquentation de la route ; plus le trafic est épars et rapide plus les risques sont augmentés (SETRA, 2009).

Morbidité et mortalité

La mortalité par traumatisme routier est fortement sous-estimée. D'après une étude s'intéressant au temps de persistance des cadavres de la faune sauvage sur les routes, les chiroptères sont ceux disparaissant le plus vite avec une persistance de moins de 24 heures. Le pourcentage d'individus non retrouvés étant estimé à 85 % (Santos et al., 2011).

Des infrastructures ont été installées sur certaines portions d'autoroute, comme les chiroptéroducts, des passerelles visant à protéger les chauves-souris lors de la traversée d'une route (Figure 1). La première a été installée en 2012 mais ces ouvrages sont encore au stade expérimental.



Figure 1 - Photographie du chiroptéroduct traversant l'autoroute A89 en Auvergne-Rhône-Alpes.
SOURCE : National Geographic

Signes cliniques et lésions post-mortem

Même si de nombreuses études documentent les conditions et le nombre de chiroptères retrouvés, très peu décrivent les lésions.

Lors d'autopsie d'oiseaux ayant subi des traumatismes, les principales lésions décrites sont les fractures osseuses en particulier de l'humérus et du radius et du crâne ainsi que des hémorragies sous-cutanées et des congestions et des hémorragies multi-organiques (Andreia Garcês, 2018).

Les cadavres retrouvés sur la route sont souvent écrasés à multiples reprises par le passage des voitures ce qui rend les fractures peu évocatrices. En médecine légale la différenciation d'une fracture ante ou post-mortem se fait par la présence ou l'absence d'une hémorragie active dans la moelle (Ruder et al., 2011).

Conclusion épidémioclinique : orientation pour suspicion.

Les populations de chiroptères sont fortement impactées par le réseau routier. La mortalité observée sous-estime la mortalité réelle car les carcasses disparaissent vite et il faut ajouter les effets indirects sur les populations.

La détermination de la cause prête peu à débat au vu des lieux de découverte. Toutefois les deux analyses à effectuer en premier instance sont la radiographie pour évaluer les fractures et une autopsie. Une histologie peut aussi être utile pour tenter de déterminer le moment de la fracture en recherchant des signes d'hémorragie ou d'œdème. Ces investigations permettent aussi de chercher une possible cause sous-jacente (amaigrissement, affection, ...).

Traumatisme par projectile

Agent causal

Avant les années 2000 un grand nombre de chauves-souris étaient tuées volontairement par l'Homme à travers le monde. On retrouve des occurrences de chiroptères abattus par des projectiles en Australie, en Europe dont la France, l'Allemagne, l'Angleterre, l'Islande, et en Amérique du Nord et du Sud. Les raisons de ces destructions sont diverses et varient selon les pays et les cultures mais on retrouve majoritairement la chasse pour l'alimentation, la protection des cultures pour les espèces frugivores, la lutte contre les chauves-souris-vampires mais aussi des actes de vandalisme (T. J. O'Shea et al., 2016).

Les espèces des chauves-souris ont un statut d'espèce protégée dans de nombreux pays. En France elles sont protégées par l'article L.411-1 du Code de l'Environnement et l'arrêté de préservation du 23 avril 2007, exposant tout contrevenant à une peine d'emprisonnement et une amende. À l'international, toutes les espèces sont protégées par la Convention de Bonn (23 juin 1979) relative à la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage qui a permis de signer l'Accord relatif à la conservation des populations de Chauves-souris d'Europe (EUROBATS, 4 décembre 1991), et par la Convention de Berne (19 septembre 1979) relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe (Source : <http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr>). Aux États-Unis seulement six espèces sont protégées par des lois fédérales. En Australie le gouvernement tente de réguler les destructions illégales en délivrant des permis de chasse (T. J. O'Shea et al., 2016).

Épidémiologie : facteurs de risque

En France et en Europe, neuf espèces de trois familles ont été concernées par des actes de vandalisme entre 1920 et 1980. (T. J. O'Shea et al., 2016)

Mortalité et morbidité

Ces actes restent toutefois anecdotiques en France métropolitaine et en Europe et ne représentent pas une des raisons principales de mortalité. Toutefois dans les territoires d'Outre-Mer le braconnage pour la consommation de chair de chiroptère est encore pratiqué.

Signes cliniques et lésions post-mortem

Lors d'une suspicion de braconnage, des photos doivent être prises en priorité sur le lieu de découverte avant tout déplacement des corps, pour reconstituer au mieux l'acte de vandalisme (Bradley-Siemens, Brower, 2016).

La radiographie est le premier examen complémentaire à réaliser. Il permet de visualiser la présence de projectiles ou de fragments métalliques ainsi que son trajet, et est plus sensible que l'autopsie pour caractériser les atteintes osseuses. Le trajet du projectile peut être estimé par la présence de gaz, d'hémorragie, d'os ou de fragments métalliques. Suite à une percussion, les fragments osseux se retrouveront en arrière du lieu d'impact, ce qui peut aider à comprendre la trajectoire.

Lors de l'autopsie, le praticien se doit de décrire avec détails le point d'entrée, de sortie, le trajet et les lésions associées du projectile.

En l'absence de projectile visualisable à la radiographie, les plaies peuvent être confondues avec des plaies de morsure ou des lacérations suite à d'autres type de traumatismes. Lors de traumatisme par arme à feu, les plaies d'entrée et de sortie répondent à certaines caractéristiques. La plaie d'entrée est généralement un trou circulaire de petit diamètre, pouvant être inférieur à celui du projectile, avec un anneau d'abrasion visible et de la peau et/ou des poils dirigés vers l'intérieur. Selon la distance de tir des traces de suies ou de résidus de poudre peuvent être retrouvés. Les plaies de sortie peuvent, elles, prendre des formes diverses (fentes, étoilées, irrégulières) de petit ou grand diamètre, généralement sans anneau d'abrasion ou résidus de poudre (Bradley-Siemens, Brower, 2016)

Conclusion épidémiologique-clinique : orientation pour suspicion

En France, bien que les actes visant à tuer des chiroptères soient condamnés par la loi, on recense encore des actes de vandalisme principalement par arme de tir.

Généralement des projectiles sont retrouvés à proximité ou sur/dans les individus d'où l'importance de réaliser des photographies de la scène.

Des radiographies et une autopsie peuvent permettre de visualiser la présence et la trajectoire des projectiles, même si la cause de la mort et le processus pathologique principale sont facilement identifiable.

Traumatisme par collision avec un objet fixe

Agent causal

Bien que cela soit rare, des cas de collisions avec des structures fixes tels que des phares, des tours de refroidissement, des installations nucléaires, des tours de télévisions ou des immeubles sont reportés essentiellement lors de la période de transit automnal (Jameson, Willis, 2014).

Signes cliniques et lésions post-mortem

Radiologie

Les chiroptères morts suite à une collision en vol avec des bâtiments présentent des fractures dans 17% des cas, principalement à la mandibule (7,5%) (Rollins et al., 2012). Les oiseaux morts dans de mêmes circonstances présentent eux aussi des

fractures dans 9-18% des cas principalement à la mandibule et au crâne ce qui laisse supposer que la collision se fait frontalement (Veltri, Klem, 2005). Contrairement aux chiroptères retrouvés morts sur des champs d'éoliennes, ceux tués par collision avec des bâtiments présentent moins de fractures et de lacérations (Rollins et al., 2012).

Lors de l'autopsie d'oiseaux morts par collision les lésions principalement décrites sont des blessures sous-cutanées (hématomes) et une accumulation de sang intracrânien. Selon le type de collision et la vitesse, les lésions sont plus ou moins sévères (Veltri, Klem, 2005).

Histologie

Chez des oiseaux l'étude histologique du cerveau et du cervelet a révélé la présence d'une hémorragie, principalement dans la substance blanche cérébelleuse. Cette étude propose l'hypothèse que les décès suite à des collisions sont le résultat de dommages aux fibres de communication cérébelleuses, de la rupture des vaisseaux sanguins et de la rupture ultérieure de la barrière hémato-encéphalique sur plusieurs sites, des complications d'une hernie de certaines parties du cervelet et médullaire à travers le foramen magnum, et du saignement sous-dural étendu suivi d'un œdème intracrânien. Les signes neurologiques observés sur des individus après des collisions appuient cette hypothèse (Veltri, Klem, 2005).

Conclusion épidémiologique-clinique : orientation pour suspicion.

Comme pour les traumatismes routiers, le lieu de découverte est le premier indice pour supposer une origine traumatique par collision. La réalisation de radiographie est fortement préconisée pour visualiser des fractures qui concernent principalement la mandibule et le crâne lors de collision frontale. L'histologie permet de confirmer l'étiologie notamment en présence d'atteinte du cerveau évoquant un traumatisme à forte énergie.

Substances toxiques

Les chiroptères sont particulièrement exposés (Tableau 1) à un grand panel de toxiques par leur alimentation, leur longévité et leur lieu de vie.

Dans cette partie nous évoqueront succinctement les toxiques pouvant être à l'origine d'une mortalité de chauves-souris en détaillant certaines familles présentant un intérêt particulier.

Agent causal

Tableau 1– Caractéristiques principales des agents toxiques rencontrés chez les chiroptères

(Source Geluso et al., 1976 ; Gremillet et Boireau, 2002 ; Caroff, 2003 ; Carravieri et Scheiffler, 2012 ; Pavisse, 2012 ; Mineau et Callaghan, 2018)

Famille	Substances	Utilisation décrite	Usages et autorisation	Mode d'action	Caractéristiques générales
Organochlorés	DDT, DDE, DDD, Dicofol, Méthoxychlore, Lindane, Aldrine (métabolite : dieldrine), Endrine, Endosulfan, Chlordane, Heptachlore Toxaphène Mirex, Chlordécone	- Pesticides - Destruction volontaire de gîtes	-1970 : interdiction dans les pays développés - Encore utilisé dans les pays en développement	- Action sur les canaux sodiques	- Persistance dans l'environnement - Liposolubles
Organophosphorés	Parathion méthyl, Malathion, Fénitrothion	- Pesticide - Lutte contre les invertébrés nuisibles, champignons et plantes herbacées.	- Groupes de pesticides très utilisés il y a quelques années. L'usage est cependant en forte diminution en Europe depuis la révision des directives européennes et l'interdiction des carbamates	- Inhibition de l'activité des enzymes cholinestérases	- Peu résistant dans l'environnement (hydrosolubles, rapidement oxydés et dégradés) - Pas de bioaccumulation
Carbamates	Carbofuran, Carbaryl, Methiocarb, Fénoxycarbe, Aldicarbe	- Élimination de mammifères et oiseaux indésirables.			
Pyréthrinoïdes	Perméthrine, Alléthrine, Cyperméthrine, Fenvalérate	- Pesticide - Envisagé pour le traitement du bois	- Usage en augmentation	- Blocage des canaux sodiques	-Liposoluble, résistant à la photodégradation - Dégradation par hydrolyse et oxydation - Persistance dans l'environnement (sous-estimé)

Néonicotinoïdes	Clothianidine, Acetamipride, Thiaclopride, Imidaclopride, Thiamethoxam	- Pesticide - Traitement prophylactique des graines	- Usage en augmentation dans le monde - Restriction en 2013 en Europe - Interdiction clothianidine, thiaméthoxame et imidaclopride en France fin 2018	- Agoniste des récepteurs nicotiniques de l'acétylcholine	-Faible biodégradabilité, persistance dans l'environnement
Avermectine	Ivermectine, Sélamectine	Antiparasitaire : nématode et arthropodes	Utilisation pour le bétail	-GABA facilitateur - Elimination de la forme active dans les fèces des animaux traités.	- Faible solubilité dans l'eau, grande affinité pour les particules organiques. Persistance longue dans les déjections des animaux et dans les sols (demi-vie de plusieurs mois)
PCB	Aroclor ; Pyralène	Application industrielle	-Arrêt production dans les pays industrialisés fin des années 1980, mais toujours présents dans certains anciens produits	- Interaction avec les cytochromes P450	- Persistant dans l'environnement -Fortement liposoluble - Bioaccumulation
Métaux et métalloïde	<u>Essentiels</u> : zinc, sodium, magnésium, cuivre, fluor <u>Non essentiels</u> : plomb, cadmium, mercure	-Présent naturellement mais contaminant lors d'exploitations anthropiques (extraction minière, de pétrole et de gaz, incinération de déchets, combustion, ..). Présence dans des peintures (plomb)	- Législation pour limiter les contaminations mais toujours présents	Variés : - Substitution des minéraux essentiels (plomb et synthèse de l'hème) ; -Effets neutotoxiques (plomb, mercure) ; toxicité rénale (cadmium) ; - Plus grande sensibilité aux maladies (plomb)	<u>Métaux non essentiels</u> : forte bioaccumulation

Epidémiologie : facteurs de risque

La plupart des études s'intéressant à la toxicologie chez les chiroptères ont été menées en Amérique du Nord, et peu de données sont disponibles pour les espèces européennes. De plus, les recherches toxicologiques ne sont pas systématiques et seules quelques études apportent des informations sur la sensibilité des populations et des individus (Tableau 2).

*Tableau 2 - Facteurs de risque pour les populations des chiroptères des principaux agents toxiques
(Source : Geluso et al., 1976 ; Gremillet et Boireau, 2002 ; Caroff, 2003 ; Carravieri et Scheifler, 2012 ; Pavisse, 2012 ; Mineau et Callaghan, 2018)*

Substance	Mode de contamination	Population à risque	Périodes à risque	Lieu probable de découverte du cadavre
Organochlorés	- Facilement assimilé par voie orale (insectes, toilette) - Contamination par contact (oral, cutané, respiratoire) avec bois traité - Passage dans le lait maternel - Passage placentaire	Juvéniles plus sensibles dans certaines espèces	Lors de la mobilisation des graisses (hibernation, migration, fin hivernage...)	Dans la colonie ou à proximité (fin hibernation) ou milieux ouverts (lors migration)
Organophosphorés Carbamates	Voie orale, cutanée ou respiratoire.	Pas de particularités	Pas de particularités	Loin des colonies, terrains de chasse (effets aigus)
Pyréthrinoïdes	Voie orale, cutanée ou respiratoire.	Pas de particularités	Pas de particularités	Loin des colonies, terrains de chasse (effets aigus)
Néonicotinoïdes	Voie orale (insecte, ...)	Pas de particularités	Pas de particularités	Pas de particularités
Avermectine	Voie orale (ingestion d'insectes coprophages)	- Grand Rhinolophe (femelles en période de mise-bas et juvéniles, consommation de Coléoptères) - Petite Rhinolophe et Murin à oreille échanquée (consommation de diptères coprophages)	Fin de gestation et début de lactation (femelles) et émancipation des jeunes (proies plus faciles à chasser)	Pas de particularités
PCB	- Voie orale (insecte, ...) - Passage placentaire - Passage dans le lait maternel	Zones urbaines, sites industriels	Pas de particularités	Pas de particularités
Métaux et métalloïdes	- Pas d'étude expérimentale sur l'assimilation par l'alimentation - Cas d'excès de fluor par l'alimentation. - Cas d'ingestion de particules de plomb (peinture antirouille sur le pelage) - Passage de la barrière placentaire et dans le lait maternel (surtout chrome, cuivre, nickel)	- Différence d'accumulation selon les espèces (forte accumulation chez le Murin à moustaches). - Femelles ont une plus forte concentration (Pipistrelle commune, plomb). Juvéniles ont une plus forte concentration (plomb)	Pas de particularités	Pas de particularités

Signes cliniques et lésions post-mortem :

Le tableau 3 présente les effets observés et suspectés chez les chiroptères des différents toxiques. Lors des intoxications la mortalité indirecte est très largement sous-estimée car difficilement évaluable. Cette mortalité peut être due à de la prédation ou à de l'épuisement physiologique faisant suite à un affaiblissement, une incapacité de voler et chasser ou à une désorientation causée par le toxique. La disparition des ressources alimentaires suite à l'utilisation de pesticides peut également être responsable d'une mortalité indirecte par épuisement physiologique. Enfin les effets à long terme de ces substances chez les chiroptères n'ont pas encore été étudiées alors que certaines sont réputées étant cancérigènes chez d'autres espèces de mammifères.

Pour les espèces de chauves-souris vivants dans des milieux anthropisés, l'exposition à des polluants est multiple et aucune étude ne s'est encore intéressée aux effets additifs ou synergiques qu'il pourrait y avoir entre différents contaminants.

Tableau 3 - Présentations cliniques et lésions post-mortem des principaux agents toxiques chez les chiroptères
(Source : Geluso et al., 1976 ; Gremillet et Boireau, 2002 ; Caroff, 2003 ; Carravieri et Scheifler, 2012 ; Pavisse, 2012 ; Mineau et Callaghan, 2018)

Substance	Site de toxicité	Effets avérés	Effets probables	Effets possibles	Mortalité sur le terrain	Effets autres espèces
Organochlorés	Cerveau puis stockage dans les graisses	- Mortalité -Augmentation des dépenses énergétiques (Lindane chez <i>Pipistrellus pipistrellus</i>) - Prostration - Variation anormale de poids (DDE)	- Mortalité indirecte (augmentation des efforts de recherche alimentaire)	- Diminution du succès reproducteur	- Nombreux cas décrits aux États-Unis et en Europe (milieu naturel, industriel, urbanisé)	- DL50 Dieldrine plus basses chez les chiroptères que chez les souris
Organo-phosphoré Carbamates	Système nerveux central	- Effets aigus, mortalités - Perte de coordination et du réflexe de redressement	- Mortalité indirecte (Plus forte exposition à la prédation, aux conditions climatiques contraignantes) - Troubles de la thermorégulation	- Perturbation de l'écholocation	- Quelques cas confirmés mais phénomène aigu et difficulté de détection le rendent certainement sous-estimé	- Hypothermie (oiseaux et mammifères). - Sensibilité moindre mais effets plus longs que pour les souris
Pyréthroïdes	Système nerveux central	- Effets aigus, mortalité. - Altération du vol (<i>Vespertillion brun</i>) - Pas d'effets sur la mortalité et la reproduction lors d'exposition prolongée à la perméthrine, cyperméthrine et deltaméthrine aux doses d'utilisation de	- Mortalité indirecte (prédation, alimentation)	- Transfert aux juvéniles suspecté	- Aucun cas avéré	- Faible toxicité aiguë (mammifères de laboratoires) - Troubles de reproduction (mammifères) - Toxicité perméthrine chez <i>Myotis lucifugus</i> supérieure à

		produits de traitement du bois (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)			celle chez le rat	
Néonicotinoïdes	Disparition des proies, contaminatio n indirecte		D'après les effets sur d'autres mammifères <u>Aigu</u> : Mortalité ; Troubles moteurs <u>Sub-chronique</u> : perte de poids, troubles du développement fœtal, trouble de la reproduction, faiblesse musculaire, toxicité hépatique et rénales et pulmonaire <u>Chronique</u> : toxicité thyroïdienne, perte de poids, troubles du développement fœtal, troubles de la reproduction	Non décrit	- Immunosuppre sseur chez les pollinisateurs et les oiseaux (imidaclopride) - Mortalité, troubles moteurs (ataxie, spasmes), toxicité hépatique, rénale, trouble endocrinien, trouble de la reproduction, fluctuation du poids	
Avermectine	- Disparition des proies, contaminatio n indirecte (système nerveux central)	- Application topique (ivermectine) : décès, paralysie, difficultés respiratoires, prostration	- Diminution des ressources alimentaires	Etude en cours	Peu d'effets sur les mammifères	
PCB	Perturbateur endocrinien, cancérogène , perturbation du métabolisme	- Effets chroniques - Prises de poids inhibée	- Impact de la reproduction (avortement)	- Perturbation du système endocrinien	- Beaucoup de détection mais pas de preuve de mortalité liée aux PCB	- Impact sur la reproduction nombreux mammifères Effets système endocrinien
Métaux et métalloïdes	Effets variés	- Peu d'étude expérimentale sur les effets toxiques - Mortalité (TBTO, fluor) <u>- Effets sub-létaux</u> : tremblement, incoordination, signes de stress, salivation excessive, diarrhées, prostration. Effets sur la reproduction (cadmium, nécrose testicule et arrêt de la spermatogénèse)	- Mort-né, avortement (plomb)	- Effets chroniques de l'exposition s uspecté	- Peu d'association entre valeurs des dosages et les effets létaux	- Impact sur la reproduction (cadmium)

La petite taille des chauves-souris constitue une limite technique pour la recherche de toxique puisque au minimum un gramme de matière fraîche (tissus ou guano) est

nécessaire pour le dosage d'un groupe de toxique. Pour pallier à cela la constitution de pool d'organe de plusieurs individus est recommandée, d'où l'intérêt de collecter un grand nombre de carcasses et une grande quantité de guano. Les analyses toxicologiques peuvent être réalisées sur des individus relativement anciens même si des cadavres frais sont préférables. Ils doivent être conservés dans un congélateur à l'obscurité, idéalement à une température de -60°C pour assurer la détection des pesticides modernes (pyréthrinoïdes, organophosphorés, carbamates), mais une température de -20° suffit pour la détection des organochlorés, des PCB et des métaux (Tableau 4).

Tableau 4 - Méthodes de détection pour les principaux agents toxiques chez les chiroptères
(Source : Carravieri et Scheifler, 2012)

Substance	Mode de détection	Technique d'analyse	Tissu à analyser
Organochlorés	Dosage	CPG/ECD	Foie, cerveau, lipides Si les dosages dans le cerveau ne sont pas réalisables, une estimation à partir des concentrations dans les lipides corporels est possible.
Organophosphorés Carbamates	Dosage L'évaluation de l'inhibition de l'activité cholinestérasique cérébrale n'est pas toujours fiable car une ré-activation post mortem de l'enzyme a été décrite, ce qui masquerait les effets des anti-ChE.	HPTLC/HPLC ou HPTLC/GC-MS	Foie, guano. Mais détectable que si exposition récente.
Pyréthrinoïdes	Dosage	GC-ECD/MS	Foie, Guano
Néonicotinoïdes	Nécropsie, Histologie	Nécropsie, Histologie	Foie, Reins, Nœud lymphatique
Avermectine	Histologie	Histologie	Nécrose des cellules rénales (application directe d'ivermectine)
PCB	Dosage	CPG-MS	Tissus adipeux
Métaux et métalloïdes			
- Arsenic	Dosage	AAS	Foie, contenu gastrique, guano ?
- Cadmium	Dosage	AAS	Foie, rein
- Chrome	Dosage	AAS	Foie, rein
- Cuivre	Dosage	AAS	Foie, rein, plasma
- Fer	Dosage	AAS	Foie, rein, plasma
- Plomb	Dosage	AAS	Foie, rein, plasma, ossement, guano ?
- Zinc	Dosage	AAS	Foie, rein, plasma
Plomb, Cadmium, Mercure	Histologie	Histologie	Foie, reins, os, (rate, poumon, glande surrénale, cerveau)
Fluor	Nécropsie, Histologie	Nécropsie, Histologie	Os

Techniques d'analyse : CPG Chromatographie en phase gazeuse ; ECD Détecteur à capture électronique ; HPTLC Chromatographie en couche mince haute performance ; HPLC Chromatographie en phase liquide haute performance ; GC-MS Chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse ; GC-ECD Chromatographie en phase gazeuse couplée à un détecteur à capture électronique ; AAS Spectrométrie d'absorption atomique ; ICP-MS Spectrométrie par torche à plasma couplée à la spectrométrie de masse.

Conclusion épidémiologique : orientation pour suspicion

Les chiroptères sont des espèces très exposées aux polluants notamment par la chaîne alimentaire ou la proximité avec les activités humaines, et sont sensibles à de nombreuses substances. Toutefois les analyses toxicologiques sont limitées par des contraintes techniques et sont *in fine* très rarement réalisées lors d'évènements de mortalité de chiroptères.

Les manifestations cliniques sont variables ; elles peuvent être létales, aiguës, chroniques, altérer les capacités reproductives ou le métabolisme et ne sont pas pathognomoniques. La plupart des suppositions d'intoxication à ce jour se basent sur les commémoratifs recueillis sur le terrain. Cependant les substances toxiques peuvent être impliquées lors de mortalité attribuée à d'autres causes (prédation, traumatisme, épuisement physiologique) ou d'origine inconnue (avortement,).

La généralisation des analyses toxicologiques lors de mortalité anormale semble importante pour comprendre réellement l'impact des contaminants sur la mortalité des chauves-souris. Même si l'analyse d'organe peut être complexe à mettre en place au vu des quantités nécessaires, l'analyse de guano, elle, ne présente aucune difficulté à être réalisée de manière quasi-systématique. Bien que toutes les substances chimiques ne soient pas excrétées dans les fèces ou dans la même forme chimique, la généralisation de cette analyse lors de mortalité peut grandement aider au diagnostic. Les dosages de toxiques dans le guano gagneraient même à être systématisés lors des suivis de colonies pour d'une part compléter les données scientifiques sur les concentrations usuelles et d'autre part déceler une exposition récente.

Pour limiter les frais d'analyse et réaliser des analyses pertinentes il est crucial de restreindre les substances recherchées. La prise de commémoratifs et l'investigation sur le terrain sont primordiales pour connaître les sources potentielles de pollution à proximité. Certains sites internet recensent les pollutions industrielles (pollution des sols, sites industriels, exploitation agricoles) et peuvent aider à ce travail.

Agents infectieux

Immunité

Les causes infectieuses font rarement partie des causes de mortalité principales des chiroptères et sont très peu étudiées en tant que telles (Wong et al., 2007 ; Wibbelt, Moore, et al., 2010 ; Mühlendorfer, Speck, Wibbelt, 2011). La plupart des études se concentrent sur le rôle de vecteur et de réservoir que jouent les chiroptères pour de nombreux germes notamment des virus transmissibles à l'Homme et d'autres mammifères. De plus les chiroptères sont l'ordre avec le plus grand nombre de virus portés par espèce (Luis et al., 2013) mais très peu expriment des signes cliniques.

Cette constatation a motivé de nombreuses recherches sur leur système immunitaire en particulier sur la réponse aux virus à ARN et ADN. Même si de nombreuses pistes restent à explorer un certain nombre apportent des premières explications.

Particularités du système immunitaire

L'immunité innée joue un rôle très important dans la protection des chiroptères notamment lors d'infection par des virus à ARN. Des recherches ont mis en évidence des adaptations génétiques qui permettent une forte réponse immunitaire par des interférons en présence de virus à ARN, tout en limitant une réaction inflammatoire excessive responsable des effets délétères de l'infection chez les autres mammifères. Cette capacité de contrôler les niveaux élevés d'inflammation permet une rapide élimination du virus sans détérioration de l'organisme et pourrait également expliquer en partie la longue espérance de vie de ces espèces (Banerjee et al., 2020).

Le développement du vol chez ces mammifères constitue une des pistes principales pour expliquer l'évolution unique de son système immunitaire. En effet lors du vol la température corporelle augmente et peut atteindre des températures similaires à celles retrouvées chez d'autres mammifères en cas de fièvre. Ce fort métabolisme entraîne une dégradation de l'ADN et une libération de celui-ci dans le cytoplasme. Pour s'adapter à cette contrainte, les voies de réparation de l'ADN ont été positivement sélectionnées et les voies de détection de l'ADN endogène ont été inhibées pour réduire les réactions auto-médiées. Ces adaptations peuvent avoir des conséquences négatives sur la détection de l'ADN exogène. Toutefois cela doit encore être mis en évidence in vivo car des virus à ADN ont été détectés chez des chauves-souris ne présentant aucun signe clinique (Zhang et al., 2013).

Une autre conséquence supposée de l'augmentation quotidienne de la température corporelle des chiroptères est l'accroissement du fonctionnement du système immunitaire. Des études ont prouvé que chez les autres mammifères une augmentation similaire de température lors de fièvre permet l'augmentation de la réponse immunitaire innée et acquise (O'Shea et al., 2014 ; Fischer et al., 2017).

L'intervention de l'immunité acquise est prouvée par la détection de multiples immunoglobulines, interleukines, cytokines et lymphocytes T, mais des études sur la séroconversion n'ont pas permis de mettre en évidence une tendance générale dans la production et la durabilité des anticorps suite à une infection (Banerjee et al., 2020).

Les chiroptères semblent favoriser une réponse à lymphocytes T ; l'une des explications seraient la présence d'os creux pour faciliter le vol et donc une diminution de la moelle osseuse

Enfin des études montrent que les chiroptères sont capables d'inhiber des protéines produites par certains virus pour moduler la réponse antivirale, leur permettant d'ajuster correctement leur réponse immunitaire (Banerjee et al., 2020).

Les particularités du système immunitaire des chiroptères sont principalement dues à leur capacité de vol, unique chez les mammifères, et à l'augmentation de leur métabolisme. Toutefois, en hiver, la majeure partie des espèces hibernent et entrent en torpeur pendant plusieurs mois, diminuant alors leur métabolisme au maximum. Selon des études, les basses températures corporelles atteintes lors cet état, ralentissent le système immunitaire mais empêchent également la réplication virale. Les plus faibles interactions entre individus au cours de l'hibernation peuvent aussi participer à une plus faible dispersion des agents infectieux (Calisher et al., 2006).

Évolution du système immunitaire selon l'âge, le sexe et la période biologique

L'évolution du système immunitaire chez les juvéniles est semblable à celui d'autres mammifères avec une transmission d'anticorps maternels détectables jusqu'au sixième ou septième mois pour être ensuite remplacés par des anticorps propres à l'individu.

D'après une étude menée sur l'infection par un paramyxovirus, les femelles gravides ou allaitantes, présentaient un taux de séroprévalence largement supérieur aux mâles ou aux autres femelles. La gestation et la lactation sont donc des périodes à risque pour la circulation d'agents infectieux, ce qui a aussi été démontré chez d'autres espèces de mammifères. Il est supposé que l'imprégnation hormonale entraîne une diminution de l'immunité et la répartition des ressources priorise la reproduction au détriment de la défense immunitaire (Plowright et al., 2008). Une autre étude portant sur l'infestation par un ectoparasite *Spinturnix myoti* a montré une plus forte charge parasitaire chez les femelles gravides et une moindre réponse immunitaire à lymphocytes T. Toujours d'après cette étude, le système immunitaire devient plus efficace en fin de gestation. Cette période coïncide avec la diminution de la charge parasitaire et le passage progressif des parasites chez les jeunes. Chez les femelles en lactation une corrélation positive entre l'immunité et la masse corporelle a été prouvée (Christe et al., 2000).

Un autre facteur influençant le système immunitaire est le stress alimentaire et environnemental. L'étude sur les paramyxovirus a montré une corrélation négative entre le score corporel et la séroprévalence, hormis chez les mâles en période d'accouplement. L'hypothèse émise est que la diminution des ressources alimentaires en plus d'entraîner une diminution de l'état corporel pourrait être responsables d'un changement de comportement encourageant les individus à explorer de plus grande surface et à partager la nourriture avec d'autres espèces favorisant la transmission de pathogènes (Plowright et al., 2008).

Une autre étude (Olival, Hayman, 2014) a montré que la virémie de virus à ARN au sein des populations était plus importante en période de mise-bas et lors de la formation de colonie. Cette observation confirme la période à risque que constitue la

mise-bas et l'allaitement pour les femelles. Elle suggère également que les juvéniles constituent une population à risque au vu de leur système immunitaire moins performant. Enfin elle confirme que les périodes de rassemblement sont en toute logique des périodes propices à la diffusion des agents infectieux notamment dans les gîtes de mise-bas où les conditions de chaleur et d'abondance d'individus et de rapprochement sont optimales pour la transmission intra et interspécifique.

Conséquence des particularités du système immunitaire sur le portage d'agents infectieux et le rôle de réservoir

Le passage en torpeur est une stratégie de défense efficace pour stopper la réplication virale et la prolifération d'agents infectieux lors de l'hibernation. Cependant cela ne permet pas la destruction des organismes résistants au froid. Une expérience a montré que la virémie était maintenue 95 à 108 jours après l'inoculation et le passage à de basses température pour le virus de l'encéphalite japonaise chez des sérotines brunes (*Eptesicus fuscus*) et des petites chauves-souris brunes (*Myotis lucifugus*) (Calisher et al., 2006). Il peut ainsi persister dans l'organisme jusqu'au réveil et être transmis à d'autres individus lors de la reprise des interactions sociales. On retrouve ce schéma de contamination pour le *White nose syndrom* dû à un agent fongique qui atteint principalement les chiroptères sortant d'hibernation.

Une étude sur un lyssavirus a mis en évidence que la combinaison entre une longue période d'incubation et la diminution de la réplication virale à des températures froides permet la préservation du virus jusqu'à ce que le pic de naissance fournisse un nouvel approvisionnement en individus immunologiquement naïfs (George et al., 2011).

Biologie des chiroptères et rôle dans la dispersion

La biologie unique de ces mammifères et le mode de vie de certaines espèces peuvent expliquer les modes de contamination et de circulation des agents infectieux à la fois au sein d'une espèce et entre les espèces de chauves-souris.

Leur capacité à voler en fait de très bons vecteurs, notamment pour les espèces migratrices qui peuvent disperser les agents infectieux sur de grandes distances et contaminer des espèces non migratrices de zones géographiques encore indemnes. Le virus de la rage est un bon exemple de cette capacité de diffusion interspécifique puisque le portage d'un même variant par deux espèces différentes a été prouvé.

Leur longue espérance de vie peut favoriser le développement d'une résistance à certains agents sans empêcher le portage et la diffusion à d'autres espèces de vertébrés.

Enfin l'utilisation de l'écholocation pour la plupart des espèces, entraîne l'émission de microparticules pouvant être porteuses de germes et favorise donc leur diffusion dans l'environnement (Calisher et al., 2006).

Agents viraux

Les chiroptères sont porteurs de nombreux virus (O’Shea et al., 2014) dont beaucoup sont étudiés pour leur potentiel zoonotique (Tableau 5). Les données sur les impacts individuels et populationnels de ces virus sur les chiroptères sont encore très mal documentées et nécessitent davantage d’études (Tableau 6).

Agents étiologiques

Tableau 5 - Caractéristiques générales des principaux virus identifiés chez les chiroptères

Famille	Genre (Espèce)	Caractéristiques	Répartition	Espèces sensibles	Références
Rhabdoviridae	Lyssavirus (RABV ; EBLV-1 ; EBLV-2 ; ABLV ; LBV ; DUVV ; ARAV ; KHUV ; IRKV ; WCBV ; SHIBV)	ARN simple brin	<u>RABV</u> : Mondiale	<u>RABV</u> : Homme, vertébrés <u>EBLV-1</u> : Homme (quelques cas) <u>EBLV-2</u> : Quelques mammifères terrestres <u>ABLV</u> : Homme	(Calisher et al., 2006 ; George et al., 2011 ; Horton et al., 2020)
			<u>EBLV</u> : Europe		
			<u>ABLV</u> : Australie		
Flaviridae	Flavivirus (Virus Usutu)	ARN simple brin	Présent en Afrique puis en Europe Pas de circulation d’autre Flavivirus chez les chiroptères en Europe	Homme, oiseaux (passereaux ++), rongeurs, chien, chevaux	(Cadar et al., 2014 ; Benzarti et al., 2020)
Astroviridae	Nombreux	ARN simple brin	Mondiale	Aucun cas d’infection de l’Homme décrit Virus relativement spécifique à une espèce	(Fischer et al., 2017)
Filoviridae	Ebolavirus (Zaire Ebola)	ARN simple brin	Mondiale	Homme, primate	(Roue S.Y. and Nemoz M, 2002 ; Negroredo et al., 2011 ; Olival, Hayman, 2014 ; Kemenesi et al., 2018)
	Marburgviruses (Marburg virus)	ARN simple brin	Afrique	Homme	
	Ebolavirus (Reston ebolavirus)	ARN simple brin	États-Unis	Primate	
	Lloviu (LLOV)	ARN simple brin	Europe (Espagne, Portugal, France, Hongrie)	Pas de d’infection de l’homme décrite	
Coronaviridae	Group I SARS-Cov SARS-Cov-2	ARN simple brin	Mondiale	Zoonose Mammifères	(Gloza-Rausch et al., 2008)
Paramyxoviridae	Henipavirus (Hendravirus)	ARN simple brin	Australie	Zoonose Chevaux	(Poel et al., 2006 ; Plowright et al., 2008 ; Wibbelt, Moore, et al., 2010 ; O’Shea et al., 2014)
	Henipavirus (Nipah viruses)	ARN simple brin	Australie	Zoonose Porc	
Adenoviridae	Mastadenovirus (AdV-2 ; AdV-1 ; FBV1)	Virus à ADN	Europe (Allemagne)	Mammifères Très spécifique d’une espèce	(Sonntag et al., 2009)

Herpesviridae		Virus à ADN	Europe (Allemagne)	Mammifères, oiseaux, reptiles, amphibiens, poissons, mollusques	(Wibbelt et al., 2007)
Gammaherpesvirinae	(BatGHV-1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7)				
Betaherpesvirinae	(BatBHV-1)				

Épidémiologie et signes cliniques

Famille	Genre (Espèce)	Espèce porteuse	Rôle des chiroptères	Transmission	Immunologie	Signes cliniques chez les chiroptères	Signes cliniques chez d'autres espèces
Rhabdoviridae	Lyssavirus (RABV ; genotype 1)	Nombreuses espèces					<u>RABV</u> : Mortalité systématique précédée des signes cliniques caractéristiques de la rage
	Lyssavirus (EBLV-1 ; genotype 5)	Espèce d'Europe Eptesicus serotinus surtout	Hôte réservoir Permet l'hivernage du virus	Par la salive principalement Transmission placentaire (pour le Molosse du Brésil)	Longue persistance de la virémie chez chiroptères	Asymptomatique à léta. Possibilité de troubles nerveux avant la mort Les signes dépendent de la souche et de l'espèce touchée	<u>EBLV</u> Très virulent chez les autres vertébrés Signes cliniques de la rage.
	Lyssavirus (EBLV-2 ; genotype 6)						
	Lyssavirus (ABLV ; génotype 7)	Genre Pteropus					<u>ABLV</u> Moins virulent chez les autres mammifères
Flaviridae	Flavivirus (Virus Usutu)	Pipistrellus pipistrellus	Hôte amplificateur Permet l'hivernage du virus	Par piqûre de moustiques	Persistance de la virémie chez les chiroptères	Asymptomatique	Souvent asymptomatique Possibilité de troubles nerveux chez les oiseaux
Astroviridae	Nombreux virus	Miniopterus schreibersii, Myotis daubentonii, Myotis nattereri	Recombinaisons virales potentielles chez les chiroptères	Transmission oro-fécale	Longue persistance dans l'organisme Le pic de virémie dans la population est atteint après l'hivernation puis la virémie se stabilise	Asymptomatique	Asymptomatique, diarrhée, hépatite, néphrite, encéphalite
Filoviridae	Ebolavirus (Zaire, Ebola)	Pteropus Femelle gestante	Hôte réservoir	Suspicion par voie aérienne	Persistance dans l'organisme sans signes clinique	Asymptomatique	Mortalité, fièvre hémorragique

	Marburgvirus (Marburg virus)	Multipl es Rousett us aegypti acus	Hôte ré servoir	Suspici on de transmission par voie orale, fécale, sexuelle ou par les urines	Pic de virémie chez les jeunes à 6 mois	Asympt omatique	Mortal ité
	Ebolavirus (Reston ebolavirus)	Multipl es espèces	Hôte ré servoir			Asympt omatique	Mortal ité mais moins virulent
	Lloviu (LLOV)	Miniopt erus schreib ersii	Inconnu	Inconnu	Inconnu	Asympt omatique	Troubl e de l'immu nité chez l'hom me ?
Coronaviridae	Group I	Vespert ilinoni dae	Hôte ré servoir	Transmi sion dans les colonies de maternité	Inconnu	Asympt omatique	
	SARS-Cov	Multipl es espèces	Hôte ré servoir	Inconnu	Inconnu	Asympt omatique	Troubl es respirato ires et digestifs
	SARS-Cov 2	Multipl es espèces	Hôte ré servoir	Inconnu	Inconnu	Asympt omatique	Troubl es respirato ires et digestifs
Paramyxoviridae	Henipavirus (Hendravirus)	Genre P teropus Femelles gestant es et allaitant es	Pic de virémie lors de la période de mise- bas	Transmi sion horizontale lors de contact proche (par la salive, le guano)	Longue séropré valence	Asympt omatique	Mortal ité, détresse respirato ire
	Henipavirus (Nipah viruses)	Genre P teropus Femelles gestant es et allaitant es	Pic de virémie lors de la période de mise- bas	Transmi sion horizontale lors de contact proche (par la salive, le guano)	Longue séropré valence	Asympt omatique	Mortal ité, fièvre, encéphalite, détresse respirato ire
Adenoviridae	Mastadenovirus (AdV-2 ; AdV-1 ; FBV1)	Vespert ilinoni dae	Inconnu	Suspici on voie aérienne	Inconnu	Asympt omatique Atteintes gastro- intestinales ?	Troubl es respirato ire, oculaires et gastrointest inaux
Herpesviridae	(BatGHV-1 ; Gammaherpesvirinae 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7) Betaherpesvirinae (BatBHV-1)	Vespert ilinoni dae	Inconnu	Urine, fèces, salive	Inconnu	Asympt omatique Potentielle ment pneumonie mais pas de corrélation établie	Multipl es

Tableau 6 - Epidémiologie et signes cliniques des principaux virus chez les chiroptères

Source : Roue S.Y. and Nemoz M, 2002 ; Calisher et al., 2006 ; Poel et al., 2006 ; Wibbelt et al., 2007 ; Gloza-Rausch et al., 2008 ; Plowright et al., 2008 ; Sonntag et al., 2009 ; Wibbelt, Moore, et al., 2010 ; George et al., 2011 ; Negredo et al., 2011 ; Cadar et al., 2014 ; Olival, Hayman, 2014 ; Fischer et al., 2017 ; Kemenesi et al., 2018 ; Benzarti et al., 2020 ; Horton et al., 2020

Méthodes de détection

La PCR est la méthode de choix pour détecter la présence d'un virus alors que la sérologie reste la méthode de choix pour détecter son passage. Malgré une sensibilité imparfaite à l'échelle des individus la sérologie reste un outil de choix pour évaluer la circulation de virus dans une population.

Le problème principal pour la détection de virus est l'altération rapide des cadavres. Pour la détection virale la congélation n'est pas contre-indiquée mais les cadavres sont souvent retrouvés dans un état de décomposition avancée. L'un des problèmes rencontrés avec la sérologie pour certains virus est l'absence de valeur seuil standard et donc la difficulté d'interprétation des résultats.

Tableau 7 - Méthodes de détection des principaux virus chez les chiroptères

Famille	Genre (Espèce)	Méthode de détection	Support
Rhabdoviridae	Lyssavirus	Immunohistochimie, PCR	Cerveau
Flaviridae	Flavivirus (Virus Usutu)	RT-qPCR	Cerveau , foie
		Immunohistochimie (oiseaux)	Cerveau, cœur poumon, foie, reins, rate (cellules marquées = neurones dégénérés, cardiomyocytes, pneumocytes, cellules tubulaires rénales, entérocytes, cellules endothéliales de la rate, lymphocytes, macrophages.
		Nécropsie (oiseaux)	Hépatomégalie, splénomégalie, inflammation nécrosante et non suppurative (sans corrélation avec l'abondance du virus dans les tissus)
Astroviridae	Nombreux	RT-PCR	Guano, salive, écouvillon oro-pharyngé
Filoviridae	Ebolavirus (Zaire Ebola)	PCR	Fèces
		Sérologie	Sérum, plasma
	Marburgviruses (Marburg virus)	PCR	Poumon, intestins, reins, vessie, glandes salivaires, appareil reproducteur femelle.
	Ebolavirus (Reston ebolavirus)	Sérologie	Sérum, plasma
	Lloviu (LLOV)	Sérologie	Sérum, plasma
		RT-PCR, PCR	Poumons, rate, foie
Coronavirus		RT-PCR	Fèces
Paramyxoviridae	Henipavirus (Hendravirus)	Sérologie (Séroprévalence longue)	Sérum, plasma Urine
Adénoviridae	Mastadenovirus (AdV-2 ; AdV-1 ; FBV1)	PCR	Intestins , foie, reins
Herpesviridae	(BatGHV-1 ; 2 ; 3 ;	Microscopie électronique	
Gammaherpesvirinae	4 ; 5 ; 6 ; 7)	PCR	
Betaherpesvirinae	(BatBHV-1)		

La mise en évidence de la circulation d'un virus dans une population peut être facilitée par la réalisation de PCR sur du guano, cette technique pouvant aussi servir à effectuer

des suivis et à mieux comprendre la circulation des agents viraux entre colonies. Le développement de techniques permettant la réalisation de sérologies sur de faibles quantités de sang pourrait également faciliter le diagnostic et le suivi de la séroprévalence à partir d'individus vivants ou moribonds.

Conclusion épidémiologique-clinique : orientation pour suspicion

De nombreuses études ont montré que les chiroptères étaient porteurs de divers agents viraux sans toutefois pouvoir les relier à des signes cliniques ou à des lésions même si certains comme des lyssavirus sont responsables de signes cliniques et même de mortalité chez certaines espèces.

Compte tenu de la biologie et des connaissances actuelles sur le système immunitaire des chiroptères les contaminations et la mortalité liées à des agents infectieux sont susceptibles de survenir :

- lors des rassemblements en colonie, soit lors de la constitution des gîtes de mise-bas, soit lors du swarming³ ;
- en période de gestation et de lactation pour les femelles ;
- chez les juvéniles dans les premiers mois de vie, avec une période plus à risque vers six mois ;
- en période de manque de ressource alimentaire, de consommation des réserves graisseuse ;
- en période de sortie d'hibernation.

Agents bactériens

Contrairement aux virus, on recense beaucoup moins d'études traitant des bactéries chez des chiroptères.

Pasteurellose

Agent étiologique

Les bactéries du genre *Pasteurella* sont des bactéries gram négatif, anaérobies facultatives à catalase positive. Les bactéries de ce genre sont nombreuses et largement réparties dans le monde. *Pasteurella multocida* est l'une des plus commune. Elle est associée à des atteintes localisées et systémiques chez des mammifères et des oiseaux mais on la retrouve également dans la flore oro-pharyngée commensale de certaines espèces telle que le chat. Il existe de très nombreuses sous-espèces de *Pasteurella multocida* comme *P. multocida* subsp. *septica* isolées régulièrement chez les chiroptères.

³ Rassemblement des chiroptères pour la reproduction durant le début de l'automne avant l'hibernation

Épidémiologie : facteurs de risque

Dans la littérature on retrouve plusieurs évènements de mortalité pour lesquels une infection par *Pasteurella* sp. a été suspectée. Ces évènements concernent différentes espèces de chauves-souris telles que des *Vespertilionidae* d'Europe ou des sérotines brunes. L'âge, le sexe ou le stade de reproduction ne semblent pas avoir d'impact sur les individus touchés par cette infection.

Les infections à *Pasteurella multocida* ou d'autre espèce de *Pasteurella* sont essentiellement décrites sur des chauves-souris captives ou sur des individus sauvages isolés présentant des lésions traumatiques suggérant une tentative de prédation par un chat.

Signes cliniques et lésions post-mortem

Autopsie

A l'autopsie, une étude sur cinq sérotines brunes fait mention de signes de pneumonie multifocale avec des foyers coalescents rouge foncé situés dans des lobes partiellement fibrosés pour deux individus, de splénomégalie modérée pour deux autres, et de congestion séreuse ou hémorragique des intestins pour l'ensemble des carcasses. De plus trois des cinq individus étaient en état de misère physiologique (Blehert et al., 2014).

Selon une étude réalisée en Allemagne, 83% (n=24) des chauves-souris infectées par une *Pasteurella* présentaient des lésions traumatiques évoquant une tentative de prédation par un chat (Mühldorfer, Schwarz, et al., 2011).

Histologie

Dans les mêmes études, l'histologie a mis en évidence la présence de coques dans la lumière vasculaire et dans les cellules endothéliales des poumons, du foie, de la rate. Les capillaires alvéolaires présentaient une thrombose intravasculaire, une nécrose des cellules endothéliales et des bactéries phagocytées dans les cellules endothéliales ; les cloisons alvéolaires étaient infiltrées par des neutrophiles et d'autres leucocytes. Le diagnostic histologique était donc une septicémie bactérienne associée à une pneumonie interstitielle coccobacillaire peraiquë, diffuse et modérée.

Des péri- et épi-cardites fibrineuses suppuratives sévères, des myocardites nécrosantes suppuratives focales et des épanchements fibrineux suppuratifs de la cavité thoracique ont été associés à la mort de deux individus *Vespertilio murinus* chez lesquels *Pasteurella multocida* a été isolée à partir du cœur et de la cavité thoracique.

Bactériologie

Dans l'étude de Blehert and al. (2014), le sérotype 1 de *Pasteurella multocida* a été isolé à partir des tissus pulmonaire, hépatique, splénique, cardiaque et mammaire de quatre chauves-souris sur cinq analysées. Dans l'étude de Mühldorfer et al. (2011) *Pasteurella multocida* subsp. *septica* de type capsulaire A est la souche la plus souvent isolée, c'est également celle décrite comme prédominante dans la flore oro-pharyngée du chat domestique.

Autres agents bactériens potentiellement pathogènes pour les chiroptères

Famille	Genre (Espèce)	Caractéristiques microbiologiques	Répartition globale	Espèce avec isolement décrit	Facteur de risque	Transmission	Signes cliniques	Autopsie	Histologie	Détection	Référence
Spirochaetaceae	Borrelia (Proche mais distinct d'un cluster contenant <i>B. recurrentis</i> , <i>B. duttonii</i> , and <i>B. crocidurae</i>)	Non colorable au Gram, non cultivable	Afrique, Asie, Amérique, plus rarement dans le Sud de l'Europe Un cas décrit en Angleterre	Homme, mammifères, oiseaux, ...	Juvenile, femelles	Morsure de tique Déte�t� dans une larve de tique <i>Argas vespertilionis</i>	Abattement, fièvre, mort	Anémie, liquide pleural teinté de sang, augmentation des nœuds lymphatiques thoraciques, Hépatomégalie, foie marbré, Splénomégalie, rate sombre, hypertrophie et pâleur et zones d'hémorragie des glandes surrénales, reins p�les	Hépatite et septicémie <u>Foie</u> : nécrose multifocale et vacuolisation des hépatocytes avec infiltration de macrophages. <u>Poumons</u> : congestion, infiltration de cellules inflammatoires Granulocytes dans les vaisseaux sanguins. H�mopo�iose extramédullaire marquée <u>Coloration warthin-starry</u> : Nombreux bacilles argophiles longs et ondulés (foie, poumon, rate, vaisseaux sanguins)	Confirmation par PCR à partir du foie, mais difficulté à identifier l'espèce	(Evans et al., 2009 ; Socolovschi et al., 2012)

Enterobacteriaceae	Yersinia (<i>Y. pseudotuberculosis</i>)	Cocobacille gram négative	Mondiale	Homme, mammifères, oiseaux	Juvénile Captivité, période de stress avec surpopulation	Ingestion d'eau ou d'aliment contaminés (Yersinia peut être transporté par des insectes)	<u>Forme aigüe</u> : Mortalité, septicémie, abcès nécrosant multi-focal <u>Forme chronique</u> est la plus répandue	Abcès nécrosant (foie, rate, nœud lymphatique mésentérique, poumons, reins) Hépatomégalie	Splénite avec visualisation de nombreux cocobacilles intralésionnelles à Gram négatif Pneumonie interstitielle modérée à marquée	- Culture dans poumon, cœur, rein, foie, rate, intestin - Identification biochimique (API) et analyse génétique	(Childs-Sanford et al., 2009 ; Mühldorfer et al., 2010)
	Yersinia (<i>Y. enterocolitica</i>)	Bacille Gram négative	Mondiale	Homme, mammifères, oiseaux	Inconnu		Forme subclinique	Pas de lésions inflammatoires	Pas de lésions inflammatoires	- Culture (rate et intestins) - Identification biochimique (API) et analyse génétique	
	Salmonella (<i>Salmonella Typhimurium</i>)	Bacille gram négative	Mondiale	Homme, mammifères, oiseaux	Inconnu		- Inconnu chez les chiroptères - Gastro-entérite chez d'autres espèces	Méningite purulente ; encéphalite bénigne	Méningite purulente ; encéphalite bénigne	- Culture spécifique - Histologie	
Anaplasmataceae	Anaplasma (<i>Anaplasma phagocytophilum</i>)	Gram négative, intracellulaire	Mondiale	Homme, bovins, ovins	Inconnu	Morsure de tique Suspicion d'ingestion de tiques porteuses	Infection persistante Pas de signes cliniques Anémie hémolytique chez d'autres espèces	Non exploré	Non exploré	Détection ADN dans le guano de colonie	(Afonso, Goydadin, 2018)
Streptococcaceae	Non précisé	Gram positive	Mondiale	Homme, mammifères, oiseaux, ...	Inconnu	Commensale	Inconnu Formes multiples chez d'autres espèces	Pneumonie interstitielle	Pneumonie interstitielle	- Histologie - Bactériologie	(Mühldorfer, Speck, Wibbelt, 2011 ; Mühldorfer, Speck, Kurth, et al., 2011)

Bacillaceae	Bacillus (B. cereus)	Bacille Gram positif	Europe	Homme, bovins, ovins	Inconnu	Voie orale	Inconnu	Lésions pulmonaires granulomate use	Lésions pulmonaires granulomateus e	- Histologie - Bactériologie	(Mühdorfer, Speck, Wibbelt, 2011)
--------------------	-------------------------	-------------------------	--------	----------------------------	---------	------------	---------	--	--	---------------------------------	--

Tableau 8 - Etiologies, épidémiologies, signes cliniques et méthodes de détections pour les bactéries potentiellement pathogènes pour les chiroptères

Agents bactériens peu ou non pathogènes pour les chiroptères

D'autres bactéries ont déjà été isolées lors de bactériologie sur des cadavres de chiroptères mais leur présence n'a pu être reliée de manière certaine à une infection *in vivo*. Il pourrait en effet également s'agir d'un envahissement des tissus post-mortem. Parmi ces bactéries on retrouve : *Klebsiella oxytoca*, *Enterococcus spp*, *Hafnia alvei* et *Serratia liquefaciens*.

Conclusion épidémiologique : orientation pour suspicion

Les contextes épidémiologiques sont semblables pour tous les agents infectieux. Les rassemblements, les périodes de gestation et de lactation pour les femelles, les premiers mois de vie pour les juvéniles et les périodes de stress alimentaire sont propices à la diffusion et à la contamination par des agents bactériens. La détection d'un agent bactérien lors de l'analyse d'un cadavre de chiroptères ne peut pas toujours être liée aux lésions ou aux signes cliniques constatés. La distinction entre l'infection, le portage asymptomatique et la contamination post-mortem est primordiale mais est encore difficile à réaliser.

Agents fongiques

Agents étiologiques

Pseudogymnoascus destructans est l'agent fongique responsable du « syndrome du nez blanc » ou WNS (pour l'anglais : *White-nose Syndrome*). Il est actuellement l'un des rares agents fongiques connus responsable de signes cliniques et de mortalité chez les chiroptères. Sa découverte a eu lieu en Amérique du Nord suite à une hausse de la mortalité des chiroptères en 2006. Depuis, la diffusion du pathogène se poursuit et continue de menacer les populations de chiroptères. Il a été détecté sur des chiroptères en République Tchèque et en Europe même si aucune mortalité de masse n'a été à déplorer dans ces pays. D'après des études génétiques il semblerait que *Pseudogymnoascus destructans* soit originaire d'Eurasie et ait été introduit en Amérique au 21^e siècle dans une population alors totalement naïve.

D'autres agents fongiques comme *Helicostylum sp.*, *Mucor heimalis*, *Mucor sp.* et *Rhizomucor variabilis* ont été isolés à partir de membrane alaire mais n'ont pu être associés à aucune lésion histologique. Il a été supposé que ces agents étaient probablement non pathogènes pour les chiroptères (Blehert et al., 2014).

Épidémiologie : facteurs de risque

La contamination par l'agent fongique du WNS se fait directement par contacts rapprochés entre individus mais aussi par contact indirect et a lieu majoritairement lors de l'hibernation. Les espèces hibernant sur de longues périodes et ayant un

comportement grégaire sont les plus susceptibles d'être infectées. Les conditions climatiques des gîtes, la distance avec des clusters ou le nombre d'espèces différentes hibernant aux mêmes endroits sont tous des facteurs de risques pour la contamination. En Europe il ne semble pas y avoir d'espèce, de mode de vie ou de mode d'hibernation rendant la contamination par *Pseudogymnoascus destructans* plus probable. En Europe les espèces sur lesquelles ce agent a déjà été isolé sont les suivantes : *Myotis myotis*, *Myotis oxygnathus*, *Myotis blythii*, *Myotis brandtii*, *Myotis daubentonii*, *Myotis dasycneme*, *Myotis mystacinus*, *Myotis nattereri*, *Myotis bechsteinii*, *Myotis emarginatus*, *Eptesicus nilssonii*, *Rhinolophus hipposideros*, *Barbastella barbastellus* et *Plecotus auritus* (Bleher et al., 2009 ; Wibbelt, Kurth, et al., 2010 ; Puechmaille et al., 2010 ; Thogmartin et al., 2013 ; Zukal et al., 2014 ; Campana et al., 2017).

Signes cliniques et lésions post-mortem

Le développement de *Pseudogymnoascus destructans* a pour conséquence l'interruption de la torpeur hivernale, la diminution des réserves de graisses et aboutit à la mort des individus. Sur certains individus l'agent fongique est visible macroscopiquement par une prolifération blanche au niveau du nez.

Histologie

L'histologie permet de poser le diagnostic de certitude d'une invasion par le WNS par la présence de lésions caractéristiques telles que des hyphes fongiques densément entassés dans les érosions circulaires de la peau ou envahissant le derme.

Culture

Une culture dans une gélose dextrose de Sabouraud avec de la gentamycine et du chloramphénicol incubée à 7°C pendant 30 jours peut permettre d'isoler l'agent (Lorch et al.2010)

Conclusion épidémiologique : orientation pour suspicion

La présence d'un agent fongique est plus probable en sortie d'hibernation. Le WNS est présent en Europe et en France mais n'est pas associé à de forte mortalité comme en Amérique. Toutefois la recherche d'agents fongiques lors de l'histologie ou par culture peut permettre de mieux connaître les champignons portés asymptomatiquement ou non par les chiroptères.

Agents parasitaires

Agents étiologiques

De nombreuses études se sont intéressées au portage parasitaire des chauves-souris et ont mis en évidence une grande diversité d'ectoparasites capables d'infester les chiroptères. On retrouve ainsi des tiques dures tels que *Ixodes vespertilionis*, *Ixodes ariadnae*, *Ixodes simplex*, *Ixodes ricinus* et *Dermacentor reticulatus*, des tiques molles comme *Argas vespertilionis*, d'autres acariens appartenant aux familles des

Psorergatidae et des *Myobiidae*, des *Spinturnix* spp., des *Notoedres* spp ou des *Chiroptonyssus robustipes* spécifiques des chiroptères. On retrouve également des puces et des hémiptères tels que *Cimex adjunctus* (Jizhou Lv and al., 2018).

Ces ectoparasites peuvent être des vecteurs de parasites internes, de bactéries et de virus potentiellement pathogènes. Ainsi en Europe des *A. vespertilionis* collectés sur des *P. pipistrellus* et des *P. auritus* se sont avérées être porteuses de *Babesia* spp., des agents de la piroplasmose (Hornok et al., 2015 ; Jizhou Lv and al., 2018). En Angleterre et en France, des bactéries du genre *Rickettsia* ont été détectées chez des ectoparasites (*A. vespertilionis*, *I. ricinus* et *D. reticulatus*) retrouvés sur des *P. pipistrellus* et *Pl. auritus* (Socolovschi et al., 2012 ; Jizhou Lv and al., 2018). De l'ADN d'*Ehrlichia* spp. a également été détecté dans des larves d'*A. vespertilionis* (Socolovschi et al., 2012). Enfin des leishmanies ont été identifiées par PCR chez une pipistrelle commune en Espagne. Des agents responsables de leishmaniose avait déjà été isolés sur des chiroptères dans d'autres pays mais jamais en Europe (I. Azami-Conesa, R.A. Martínez-Díaz, F. González, et al, 2019).

L'exposition des chiroptères à des agents infectieux présents chez des leurs proies pourrait se faire suite à une pique/morsure de leur proie ou suite à leur ingestion.

De manière plus anecdotique *Borrelia* spp. a été détectée une fois dans une *A. vespertilionis* en France. *Coxiella burnetii*, l'agent responsable de la fièvre Q a été détecté dans une *A. vespertilionis* en 1966 au Kazakhstan. Le virus Issyk-Kul (Bunyaviridae), lui, a été isolé chez plusieurs chiroptères et à partir d'une tique *A. vespertilionis* au Kyrgyzstan en 1973. Plus récemment un autre virus de la même famille a été isolé sur une *A. vespertilionis* au Japon (Jizhou Lv and al., 2018).

Des parasites internes ont aussi été observés tels que des protozoaires appartenant aux familles *Eimeriidae*, *Sarcocystidae* et des helminthes (trématodes, cestodes et nématodes). L'étude de Mühldorfer *et al.* (2010) met en évidence pour la première fois en Europe des protozoaires intramusculaires de type *Sarcosporidia* chez huit individus de quatre espèces différentes (*Pipistrellus pipistrellus*, *P. pygmaeus*, *N. noctula* et *Myotis myotis*). Enfin des coccidioses rénales ont été détectées chez des *Vespertilionidae* d'Europe.

Epidémiologie : facteurs de risque

De nombreux facteurs influencent le portage de ces parasites comme le sexe, l'âge, le stade de reproduction, le comportement, l'efficacité du toilettage ou le score corporel.

L'ensemble des études s'accorde pour affirmer que les femelles ont une plus grande charge de parasites externes que les mâles et que les juvéniles sont plus infestés que les adultes sans distinction de sexe (Lucan, 2006). Les charges de parasites internes sont également plus importantes chez les individus âgés et chez les femelles (Mühldorfer, Speck, Wibbelt, 2011).

Cette constatation s'oppose à celles faites chez d'autres mammifères où les mâles sont plus souvent porteurs des parasites (George et al., 2011). D'après certaines études, les femelles gestantes et en lactation ont un portage plus important en particulier en début de gestation (Czenze, Broders, 2011 ; Mühlendorfer, Speck, Kurth, et al., 2011). Christie et al. (2000) se sont intéressé à la réponse immunitaire par les lymphocytes T et ont montré que l'immunité était plus basse chez ces individus et augmentait ensuite au cours de la gestation (Christie et al., 2000). Czenze et Broders (2011) montrent par exemple que, sur des lapins, le cycle reproductif des puces pourrait être influencé par les corticostéroïdes, les hormones et les phéromones présents chez les femelles en lactation et les juvéniles.

La plus forte prévalence de parasites chez les femelles et les juvéniles pourrait s'expliquer d'une part par une plus faible part d'énergie allouée au toilettage lors de la gestation, de l'allaitement et des premiers mois de vie et d'autre part à leur comportement puisque certaines espèces se rassemblent en colonies lors de la période de mise-bas, ce qui faciliterait la dissémination.

Les espèces grégaires et celles vivant dans des grottes, sont porteuses d'une plus grande charge d'ectoparasites tout âge et sexe confondu (Postawa et al., 2014 ; Czenze, Broders, 2011).

Une plus forte charge d'endoparasites a été observée chez des espèces comme *N. noctula*, *E. serotinus* et *V. murinus*. On retrouve également chez ces espèces et chez *M. myotis* des signes de migrations larvaires de nématodes à l'autopsie.

Morbidité et mortalité

Mühlendorfer et al. (2011) montrent dans leur étude analysant des cadavres de chiroptères retrouvés par des chiroptérologues ou mortes en centres de soin entre 2002 et 2009 que 47% d'entre eux étaient porteurs d'ectoparasites avec en moyennes 2,4 parasites par individu. Vingt-neuf pourcent des chauves-souris présentaient un parasitisme interne dont 18% de nématodes.

Une étude a montré une corrélation variable entre le score corporel et le portage parasitaire selon la population ce qui n'a pas permis de conclure (Lucan, 2006). Toutefois une charge parasitaire plus importante a été observée chez des individus faibles mais la forte présence de parasites semblait plus être la conséquence de cet affaiblissement qu'une cause (Zahn, Rupp, 2004).

Signes cliniques et lésions post-mortem

Peu d'études mettent en évidence une relation entre la charge parasitaire observée et l'état de santé de l'individu. Par exemple l'impact de la coccidiose rénale sur les chauves-souris et sa relation avec la mortalité des chauves-souris reste à ce jour incertain.

Les parasites externes sont facilement décelables lors de l'autopsie par observation directe au niveau du pelage et des ailes. Les parasites internes peuvent être observés

lors de l'autopsie ou de l'histologie en particulier dans le tractus digestif. Des nématodes ont aussi été observés dans des artères, des capillaires ou l'atrium droit et une filariose sévère a été découverte chez des *N.noctula* en Autriche (Mühldorfer, Speck, Wibbelt, 2011) L'histologie peut aussi mettre en évidence des lésions granulomateuses faisant suite à la migration larvaire de nématodes. On peut retrouver ces lésions dans le tractus digestif, les poumons, le foie, le pancréas ou l'encéphale. Des hypertrophies des villosités avec une infiltration marquée de cellules mononucléées dans l'intestin grêle peuvent aussi être associées à la présence de parasites internes. Les protozoaires de type *Sarcosporidia* ont été retrouvés dans des kystes sur le myocarde et les muscles pharyngés.

Lors de description de coccidioses rénales, celles-ci étaient associées à des dilatations tubulaires kystiques légères à sévères accompagnées de glomérulopathies prolifératives modérées à sévères, de tubulonéphroses proximales modérées ou d'hydronéphroses sévères. Une réponse cellulaire inflammatoire et des cavités kystiques remplies de matériel nécrotique peuvent également être observées.

Les parasites intracellulaires peuvent être détectés par PCR. Ces analyses peuvent se faire à partir de guano, sang, poils ou organes. Pour exemple, des leishmanies ont été isolées à partir de la rate et de poils ce qui peut permettre une recherche sur des animaux vivants (I. Azami-Conesa, R.A. Martínez-Díaz, F. González, et al, 2019).

Conclusion épidémiologique : orientation pour suspicion

La présence de parasites est facilement mise en évidence par observation macroscopique et microscopique. Il est nécessaire d'inclure dans le diagnostic différentiel les agents infectieux à transmission vectorielle en cas de détection d'ectoparasites sur l'animal ou dans le gîte. La conséquence de ce portage sur la santé des individus n'est pas encore établie, d'où la nécessité de collecter le plus possible de données. Lors de la découverte de cadavres, la recherche et la collecte de parasites à proximité doivent être réalisées. La collecte de guano peut aussi permettre la détection de parasites ou d'ADN d'agents infectieux transmis par des parasites.

Bilan

D'après les différents bilans sur la mortalité des chiroptères en Europe, les causes de mortalité sont diverses mais les causes traumatiques restent les plus fréquentes. Ces études montrent aussi une hausse de la mortalité, toute causes confondues, en périodes de mise-bas, de migration et de swarming (George et al., 2011). Aux causes visibles s'ajoutent la mortalité dues à des causes environnementales comme la perte d'espace de chasse, la division des territoires ou la disparition de ressources alimentaires. Ces modifications impactent en particulier les juvéniles et les capacités de reproduction ; or d'après Plowright et al. (2008) la survie d'une population de chiroptères dépend en grande partie de celles des juvéniles (Plowright et al., 2008).

Partie II : Analyses des données issues du réseau de Surveillance des Mortalités Anormales des Chiroptères (SMAC)

Le réseau SMAC a vu le jour suite à un événement majeur de mortalité en 2002 en France, au Portugal et en Espagne qui a sévèrement impacté les populations de Minioptère de Schreibers. L'absence de dispositif épidémiologique et diagnostique réactif à l'époque a empêché l'analyse des cadavres et la détermination de l'origine de cette mortalité même si la distribution spatio-temporelle orientait vers un processus infectieux. Suite à ces événements, la nécessité d'action rapide en cas de mortalité anormale a été prise en compte dans le deuxième plan national d'action en faveur des chiroptères (PNAC, 2009-2013). L'action 22 notamment a donné naissance au réseau de Surveillance de la Mortalité Anormale des Chiroptères (SMAC) qui a pris sa dimension nationale en 2014. Le 3^e PNA chiroptères (2016-2025) officialise et pérennise ce réseau à travers son action 2 qui consiste à organiser une veille sanitaire.

Après 5 ans de fonctionnement un travail de synthèse des résultats obtenus était nécessaire pour proposer un premier bilan épidémioclinique mais aussi pour apprécier le fonctionnement du réseau.

Matériel et méthode

Le réseau SMAC

Ce réseau est coordonné au niveau national par l'OFB (Organisme Français de la Biodiversité), la SFEPM (Société française pour l'étude et la protection des mammifères) et la FCEN (Fédération des Conservatoires d'espaces naturels). Au niveau territorial, chiroptérologues et agents de l'OFB reçoivent et gèrent les signalements de mortalité avec l'appui de la cellule nationale. Pour le diagnostic, le réseau SMAC s'appuie sur un service de proximité, les laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires mais aussi sur des laboratoires spécialisés et de référence. Le réseau SMAC est actuellement implanté en France métropolitaine et à La Réunion. Il permet de détecter précocement certaines maladies à fort taux de mortalité ou de morbidité, mais il n'est pas suffisant pour permettre une vigilance efficace vis-à-vis de certains agents infectieux. Il s'articule donc avec d'autres réseaux tels que le réseau d'épidémiosurveillance de la rage des chiroptères coordonné par l'Anses-LRFS et avec la surveillance ciblée du WNS.

La mise en évidence d'une maladie ne résulte pas d'un dépistage systématique des agents infectieux mais d'une démarche diagnostique pour déterminer les processus ayant abouti à la mort des animaux. Ce mode de vigilance exploratoire permet de dresser un inventaire des maladies des populations de chiroptères et de détecter l'apparition de nouvelles maladies. Ce réseau permettra également d'acquérir des

connaissances sur l'expression épidémiologique, clinique et lésionnelle des agents pathogènes affectant les chiroptères et de suivre les éventuels changements d'expression.

Dans le cadre de mortalité anormale, lorsque l'état des cadavres le permet, un examen nécropsique est systématiquement réalisé et s'accompagne lorsque le mode de conservation le permet d'un examen histologique systématique. Des examens paracliniques, comme la radiologie sont mis en œuvre quel que soit l'état des cadavres si le contexte de découverte le justifie. Le pathologiste met ensuite en œuvre les examens complémentaires qu'il juge nécessaire pour déterminer le(s) causes de la mortalité. Ces examens peuvent être complétés par des investigations de terrain plus poussées. Des cas « numériques » viennent compléter l'échantillon, il s'agit de supports audiovisuels -photographies ou vidéos- concernant des animaux viables ou non transportables mais qui ont des signes cliniques marqués, originaux. Ces supports sont transmis par les interlocuteurs techniques du réseau à une cellule d'experts en pathologie de la faune sauvage. Le diagnostic proposé est alors un diagnostic différentiel et hiérarchisé (Decors *et al.*, 2015a).

La constitution des données du réseau SMAC se fait selon le processus présenté à la figure 2 et détaillé dans le paragraphe sur le fonctionnement du réseau. Tous les résultats issus du terrain et des laboratoires sont ensuite réunis dans une base de données unique : Epifaune, gérée par l'OFB, qui permet une gestion en temps réel de la veille sanitaire.

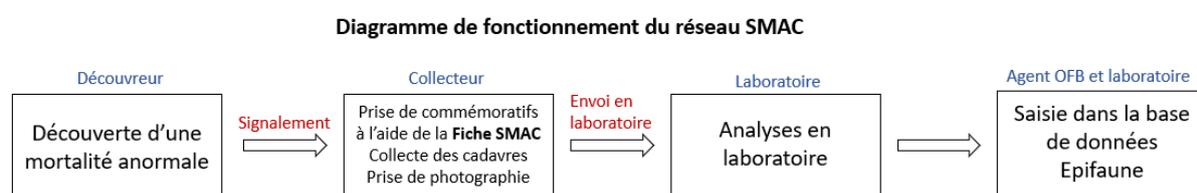


Figure 2- Principales étapes de fonctionnement du réseau SMAC

Epifaune

L'OFB s'est doté d'une base de données sous Microsoft SQL Serveur, appelée Epifaune, destinée à centraliser les données sanitaires sur la faune sauvage produites par les réseaux SAGIR, SMAC et d'autres réseaux de surveillance événementielle tout en veillant au respect de la propriété pour chaque réseau. Epifaune est administrée par l'OFB et le fruit d'une collaboration entre OFB-ADILVA-Faunapath. Cette base de données s'est dotée d'un référentiel de données standardisées afin d'avoir une meilleure homogénéité des données et faciliter leur exploitation. La structuration des données transmises a également été harmonisée pour répondre aux standards nationaux et favoriser l'interopérabilité entre les bases de données. Les données de laboratoires sont structurées de la façon suivante : matrice/analyte/méthode, nommée le « triplet MAM ». L'analyte est défini ainsi dans le projet de norme AFNOR FD V 01-00 « objet de la méthode d'analyse », l'analyte est une entité physique, chimique ou biologique. Il correspond ici soit à l'agent étiologique soit à une lésion. Epifaune

comporte des fonctions d'échanges de données informatisés avec les laboratoires qui effectuent les analyses- système SACHA : <http://www.edi-sacha.eu/>, des fonctions de géolocalisation grâce au portail IGN et des fonctions de reporting (sous QlikView). Le logiciel a été développé en mode web server et fonctionne en configuration Extranet. Le module de production permet à différents types d'acteurs de saisir à partir d'une interface Web, des données de réseaux de surveillance épidémiologique de la faune sauvage, de stocker, corriger, valider, extraire et analyser ces données et de les échanger entre les laboratoires et l'OFB à l'aide d'EDI-SACHA. Le traitement des données est possible directement avec le logiciel R.

Epifaune a été mise en production en janvier 2016 mais est également alimentée par des données rétrospectives. Les données enregistrées par les interlocuteurs techniques départementaux sont les commémoratifs liés au foyer de mortalité. Les données saisies par les laboratoires sont i) une synthèse lésionnelle (recentrée sur quatre à cinq lésions principales), ii) les résultats des examens complémentaires et iii) une conclusion à quatre niveaux, associée à un niveau de confiance. Le rapport littéral de nécropsie est transmis directement aux interlocuteurs techniques départementaux et est également attaché à Epifaune, qui assure l'archivage informatique des dossiers complets (Decors et al., 2016)

Exemple de fonctionnement de la base Epifaune

Pour illustrer le fonctionnement de la base de données Epifaune on peut prendre l'exemple d'un évènement⁴ fictif inspiré d'une mortalité de chiroptères signalée au réseau SMAC.

Cette mortalité a eu lieu le 01/01/2019 dans un grenier dans la commune de Toulouse et concerne une pipistrelle commune, adulte mâle, soit un échantillon⁵. Après discussion avec les propriétaires et le voisinage, les hypothèses d'intoxication sont exclues. Sur les lieux aucun indice biologique n'est présent mais un chat a l'habitude de venir et a déjà ramené des cadavres de chiroptères à son propriétaire. Le cadavre est congelé le 01/01/2019 et envoyé le jour même au laboratoire le plus proche.

À l'autopsie une plaie circulaire sur le patagium et des poumons congestionnés et hémorragiques sont observés. Une bactériologie est réalisée sur le foie qui revient en faveur de *Pasteurella multocida*. La tête est envoyée pour recherche de virus rabique et les résultats reviennent négatifs. À l'issue des examens l'hypothèse d'une prédation par un chat est émise.

Lors de l'entrée de ce cas sur Epifaune l'interlocuteur de terrain ou un agent de l'OFB complète Epifaune avec les informations collectées sur le terrain (Figures 3 et 4).

⁴ Le terme d'évènement décrit l'agrégation spatio-temporelle de mortalité d'une espèce. Un évènement correspond à un foyer de mortalité sur 1 km² et sur 24h.

⁵ Le terme échantillon décrit un prélèvement, il peut s'agir d'un cadavre, d'une pelote de rejection, d'une photographie, ...

ONCFS
Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

Epifaune v1.41

Fichier Enregistrer Consulter

Évènement : commémoratifs

N° évènement: Exemple Date: 2019/01/01 00:00:00 Classe: Obligatoire:

Critère	Obligatoire	Valeur	Choix de la valeur dans une liste déroulante	Saisie de la valeur en texte	Classe
Date de dépôt au Lдав	<input type="checkbox"/>			01/01/2019	Environnement du
N° des fiches SAGIR associées à cet év	<input type="checkbox"/>				Description du pré
Milieu de prélèvement	<input type="checkbox"/>	Grotte ou gîte (chauve-s			Environnement du
Type de gîte	<input checked="" type="checkbox"/>	Grenier/comble/sous-toit			Environnement du
Effectif de la colonie (ad/juv)	<input checked="" type="checkbox"/>			Ne sait pas	Environnement du
Autres espèces présentes dans le gîte (<input checked="" type="checkbox"/>			Ne sait pas	Environnement du
Dynamique de la mortalité	<input checked="" type="checkbox"/>	mortalité sur quelques jou			Mortalité groupée
Infrastructures à proximité	<input checked="" type="checkbox"/>	Route			Environnement du
Cultures dominantes et stade végétatif	<input type="checkbox"/>				Environnement du
Traitements récents?	<input type="checkbox"/>				Environnement du
Traitements de charpente ou de la pein	<input checked="" type="checkbox"/>	Non			Environnement du
Nom de la substance, du produit / mode	<input type="checkbox"/>				Environnement du
Vos hypothèses pour expliquer la morta	<input type="checkbox"/>			Prédation	Cause de la mort

Figure 3 – Capture d'écran de la page d'Epifaune à compléter avec les informations propres à l'évènement

ONCFS
Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

Epifaune v1.41

Fichier Enregistrer Consulter

Echantillons : commémoratifs

Code échantillon: Exemple-1 Classe: Obligatoire:

Critère	Obligatoire	Valeur	Choix de la valeur dans une liste déroulante	Saisie de la valeur en texte	
Avez-vous trouvé l'animal vivant	<input checked="" type="checkbox"/>	mort			Descript
L'avez-vous achevé?	<input checked="" type="checkbox"/>	Non			Descript
Comment l'avez-vous achevé?	<input checked="" type="checkbox"/>				Descript
Datation du cadavre_étape 1	<input checked="" type="checkbox"/>	Cadavre chaud et rigide			Examen
Datation du cadavre_étape2	<input checked="" type="checkbox"/>	Frais sans ballonnement			Descript
Qu'avez-vous collecté?	<input checked="" type="checkbox"/>	Cadavre intègre			Descript
Précisez les organes collectés	<input type="checkbox"/>				Descript
Mode de conservation	<input checked="" type="checkbox"/>	Congélation			Descript
Date de réfrigération ou congéla	<input type="checkbox"/>			01/01/2019	Descript
Etat corporel de l'animal	<input type="checkbox"/>	Bon			Descript
Sexe	<input type="checkbox"/>	Mâle			Descript
Age	<input checked="" type="checkbox"/>	Adulte			Descript
Comment avez-vous déterminé l'	<input checked="" type="checkbox"/>	Os/cartilage			Descript
Position de l'animal?	<input type="checkbox"/>	Sur le dos			Examen
Présence d'indices biologiques?	<input type="checkbox"/>	non			Examen
Traces de morsures?	<input type="checkbox"/>	Présente avant la décou			Examen
Traces de désordre autour du ca	<input type="checkbox"/>	Non			Examen
Troubles locomoteurs?	<input type="checkbox"/>	Ne sait pas			Symptô

Figure 4 – Capture d'écran de la page d'Epifaune à compléter avec les informations propres à l'échantillon

Ensuite le laboratoire saisit ses résultats en détaillant les lésions principales sur la base du triplet Matrice/Analyte/Méthode (MAM) ainsi que les examens

complémentaires réalisés (Figures 5 et 6). Puis il complète les quatre niveaux de conclusion, à savoir le processus pathologique principal, la cause définitive de la mort, le processus accessoire et les découvertes d'autopsie ainsi que le niveau de confiance en ces conclusions. Ainsi toutes les observations faites sont synthétisées sous la forme de triplets MAM dont les termes sont standardisés (Figure 7)

Figure 5 - Capture d'écran de la page d'Epifaune permettant la saisie d'un triplet MAM.

Ici saisie de la plaie décrite au patagium : la matrice est donc la peau, l'analyte une plaie profonde et la méthode un examen nécropsique

Figure 6 - Capture d'écran de la page d'Epifaune permettant la saisie d'un triplet MAM.

Ici saisie du résultat de la recherche de la rage : la matrice est donc le cerveau, l'analyte un Lyssavirus et la méthode l'immuno-fluorescence.

Plan analyse	Matrice	Catégorie	Analyte	Méthode	Résultat qualitatif
AN AUTOPSIE	Poumons	Inflammatoire	Congestif/Hémorragique	Examen nécropsique	Présence
AN AUTOPSIE	Peau	Mécanique et traumatique	Plaie profonde	Examen nécropsique	Présence
AN BACTERIOLOGIE	Foie	Bactérie	Pasteurella multocida	Identification biochimique	Présence
AN CLASSIFICATION RE	Animal de la faune sauvage	Classification réglementaire	Maladie réglementée	Méthode np	Absence/perte
AN CONCLUSION DEFIN	Cadavre entier	Conclusion définitive	Cause définitive de la mort (α	Méthode np	Prédation
AN CONCLUSION DEFIN	Cadavre entier	Conclusion définitive	Processus pathologique princj	Méthode np	Traumatisme autre
AN CONCLUSION DEFIN	Cadavre entier	Conclusion définitive	Processus accessoires	Méthode np	Absence/perte
AN CONCLUSION DEFIN	Cadavre entier	Conclusion définitive	Découverte d'autopsie	Méthode np	Absence/perte
AN CONCLUSION DEFIN	Cadavre entier	Niveau de confiance du dia	4-Suspicion fondée (éléments	Méthode np	4
AN VIROLOGIE	Cerveau	Virus	Lyssavirus	Immuno Fluorescence	Négatif

Figure 7 – Capture d'écran de la page Epifaune synthétisant les informations saisies pour cet évènement.

Complétion, validation et gestion des données issues du réseau SMAC

Si le réseau est opérationnel, la gestion des données a pris du retard et nécessite de définir un circuit de saisie des données, au moins pour la partie « commémoratif ». La saisie de l'ensemble de données est donc actuellement à la charge de l'administratrice de la base de données et a été réalisée dans le cadre de cette thèse. La première étape consistait à rassembler l'ensemble des informations relatives aux événements survenus entre 2014 et 2019. Ces informations ont été extraites à partir des fiches SMAC disponibles, des rapports d'autopsie et des échanges de mail entre l'animatrice du réseau (OFB) et les acteurs du réseau. Elles ont ensuite été recoupées afin de reconstituer les événements puis classées en cas « physique » si un examen nécropsique ou paraclinique a été réalisé ou « numérique » si il n'y avait eu qu'une expertise photographique et épidémiologique. Pour chaque événement les résultats des analyses effectuées ont été retrouvés et, si cela n'était pas réalisé, enregistrés dans la base de données Epifaune (Annexe 2). Avant la réalisation de ce travail moins de 20 événements étaient enregistrés dans la base de données Epifaune pour le réseau SMAC, dont certains partiellement.

Traitement des données

Une fois la base de données complétée des extractions sur Microsoft Excel ont permis de réaliser une analyse descriptive et exploratoire des événements de mortalité ainsi qu'un bilan de fonctionnement du réseau. Pour une meilleure analyse des variables ont été ajoutées ou recodées. Ainsi pour chaque événement les commémoratifs et les informations dans les échanges de mail entre l'animatrice du réseau SMAC et acteurs ont permis de savoir si les sites de découvertes étaient déjà connus et observés et ainsi de classer chaque événement comme survenu dans un lieu « Suivi » ou « Non suivi ». Une période biologique a également été attribuée en fonction du mois selon le cycle biologique proposé par Mühldorfer et al. (2011) (Annexe 1). Ce cycle biologique ne pouvant s'appliquer qu'à la France métropolitaine, une adaptation de la

correspondance entre les mois et les périodes biologiques a été effectuée pour les évènements en France d'Outre Mer selon Augros et al., 2015.

Le nombre de cas référencés au cours de ces cinq années de suivi n'est pas encore suffisant pour tester statistiquement l'influence de certains facteurs (répartition spatiale, pression d'observation, caractéristiques biologiques, etc.) sur la distribution des mortalités.

Résultats de l'analyse du réseau SMAC

Les résultats issus de ce travail ont abouti à la rédaction d'un article destiné à être publié dans la revue Faune Sauvage. Cet article reprend les résultats et les conclusions issus de l'analyse des évènements de mortalité enregistrés par le réseau SMAC.

SMAC, un réseau de détection précoce des maladies, en faveur des chiroptères- Article publié dans la revue Faune Sauvage

Fanny Schutz¹, Guillaume Le Loc'h², Lorette Hivert⁸, Gérald Larcher³, Valérie Wiorek⁴, Julie Marmet⁵, Dominique Gauthier⁶, Evelyne Picard-Meyer⁷, Anouk Decors⁸

Affiliations

*1*ENVT – Toulouse/ OFB, Direction de la recherche et de l'appui scientifique, Unité sanitaire de la faune – Orléans

*2*IHAP, Université de Toulouse, INRAE, ENVT - Toulouse

3 SFEPM et GEIHP, Université d'Angers

4 Fédération des Conservatoires d'espaces naturels – Plan National d'Actions Chiroptères - Besançon

5 UMS Patrimoine Naturel (OFB CNRS MNHN) & UMR 7204 Centre d'Écologie et des Sciences de la Conservation, Muséum national d'Histoire naturelle

6 Laboratoire départemental vétérinaire et d'hygiène alimentaire des Hautes Alpes, ADILVA- Gap

7 Anses, Laboratoire de la rage et de la faune sauvage-Malzéville

8 OFB, Direction de la recherche et de l'appui scientifique, Unité sanitaire de la faune – Orléans.

Châpo

La diminution de la biodiversité est devenue ces dernières années, une préoccupation sociétale majeure. Le rôle des maladies dans le déclin des chiroptères est probablement insuffisamment pris en compte et les méthodes de surveillance des maladies des chiroptères tendaient jusqu'à présent, comme pour beaucoup d'espèces sauvages à prioriser la détection de maladies affectant l'homme et les animaux domestiques au détriment de celles impactant leur population. Dans ce contexte, il était essentiel de se doter d'un système de détection précoce et pluridisciplinaire des maladies à enjeu pour les chiroptères ; le réseau SMAC constitue cet outil de vigilance depuis 2014.

La diminution de la biodiversité est devenue ces dernières années une préoccupation sociétale majeure. Alors que les causes d'origine anthropogénique (destruction et modification des habitats, surexploitation des ressources, changements climatiques, etc.) sont souvent bien identifiées, le rôle des maladies comme facteur majeur de

déclin d'espèces sauvages n'est souvent objectivé que lors de mortalité ou de morbidité de masse, et est donc probablement sous-estimé. Un exemple, celui de *Pseudogymnoascus destructans*, agent fongique responsable du syndrome du nez blanc chez les chiroptères, illustre bien ce constat. Il a été en effet identifié suite à une forte hausse de la mortalité de plusieurs espèces de chauves-souris aux Etats-Unis et au Canada, causant la mort de plus d'un million de chiroptères entre 2006 et 2009 (Anonyme 2009) et entraînant presque la disparition d'espèces autochtones comme *Myotis sodalis* dans l'état de l'Indiana (Puechmaille et al., 2010) (Blehert et al., 2009 ; Martínková et al., 2010 ; Wibbelt et al., 2010 ; Thogmartin et al., 2013)

Les méthodes de surveillance des maladies des chiroptères tendaient jusqu'à présent, comme pour beaucoup d'autres espèces sauvages, à prioriser la détection de maladies affectant l'homme et les animaux domestiques au détriment de celles impactant leur population (Grogan et al., 2014). Les maladies des chiroptères sont peu documentées et leur rôle dans le déclin des populations probablement insuffisamment pris en compte, notamment lorsque la distribution spatio-temporelle de la maladie est diffuse ou lorsque les effets sont sub-létaux. Les chiroptères constituent pourtant un groupe potentiellement vulnérable vis-à-vis des maladies (exotiques en particulier), du fait de leur statut de conservation parfois fragile, de leur biologie (cycle de vie complexe, dynamique de population lente) et de leur phénologie (migration, capacité de dispersion, agrégation saisonnière, etc.). Dans ce contexte, il est essentiel de se doter d'un système de détection précoce et pluridisciplinaire de la mortalité chez les chiroptères. Le réseau SMAC constitue cet outil de vigilance basé sur la détection précoce et le diagnostic d'évènements anormaux de morbidité⁶ et de mortalité.

Le réseau SMAC : son histoire, son fonctionnement

Comment ce réseau est-il né ?

Un évènement majeur, probablement dû à une épizootie a montré la vulnérabilité d'une espèce de chiroptère vis-à-vis de maladie infectieuse. En 2002, en France (Roue S.Y. and Nemoz M, 2002), mais aussi en Espagne et au Portugal (Quetglas et al. 2003), les populations de Minioptère de Schreibers (*Miniopterus schreibersii*), ont connu un effondrement exceptionnel -de l'ordre de 50% de leurs effectifs (comptés en hiver et en été)- en seulement deux ans. Cette diminution drastique aurait aussi été accompagnée de troubles de la reproduction (avortement et absence de juvéniles) et de la désertion de nombreux gîtes (Roue S.Y. and Nemoz M, 2002). A cette époque, aucun dispositif épidémiologique et diagnostique n'était opérationnel, les cadavres n'ont donc pas été collectés ni autopsiés. Les causes de cette mortalité n'ont donc pu être déterminées, cependant la distribution et l'évolution spatio-temporelle de la mortalité orientaient vers un processus infectieux. Des analyses réalisées *a posteriori* en Espagne ont révélé la circulation probable à l'époque d'un virus de la famille des *Filoviridae*. Cette découverte constitue une piste intéressante mais ne permet pas pour autant d'imputer de manière certaine cette mortalité au virus compte tenu de l'absence d'examen nécropsiques approfondis (Negredo et al., 2011).

Suite à ces évènements, la nécessité d'être réactif en cas de mortalité anormale a été prise en compte dans le deuxième plan national d'action en faveur des chiroptères (PNAC, 2009-2013). L'action 22 notamment a donné naissance au réseau de

⁶ Ensemble des effets liés à une maladie

Surveillance de la Mortalité Anormale des Chiroptères (SMAC) qui a pris sa dimension nationale en 2014. Le 3^e PNAC (2016-2025) officialise et pérennise ce réseau à travers son action 2 qui consiste à organiser une veille sanitaire.

A quoi sert SMAC ?

Les objectifs de ce réseau sont i) la détection précoce de maladies à forte expression clinique quel que soit l'agent causal (infectieux, toxique, environnemental, etc.), ii) l'acquisition de connaissances sur les maladies des chauves-souris (expression épidémiologique, clinique et lésionnelle, facteurs de risque de développement, etc.) et iii) le suivi de leur distribution spatio-temporelle. SMAC est un réseau de surveillance événementielle, c'est-à-dire qui repose sur la détection et le diagnostic d'événements de mortalité/morbidité jugés anormaux. La mise en évidence d'un agent causal ne résulte pas d'un dépistage systématique mais d'une démarche diagnostique pour déterminer les processus ayant abouti à la mort des animaux.

Comment s'opère la surveillance ?

Le réseau est coordonné au niveau national par l'OFB, la SFPEM et la FCEN (Fédération des Conservatoires d'espaces naturels). Au niveau territorial, chiroptérologues et agents de l'OFB reçoivent et gèrent les signalements avec l'appui de la cellule nationale. Pour le diagnostic, le réseau SMAC s'appuie sur un service de proximité, les laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires mais aussi sur des laboratoires spécialisés et de référence. Le réseau SMAC est actuellement implanté en France métropolitaine et à La Réunion. C'est un réseau qui permet de détecter précocement certaines maladies à fort taux de mortalité ou de morbidité, mais il n'est pas suffisant pour permettre une vigilance efficace vis-à-vis de certains agents infectieux. Il s'articule donc avec d'autres réseaux tels que le réseau d'épidémiosurveillance de la rage des chiroptères coordonné par l'Anses-LRFS et la SFPEM (Encadré 1) et avec la surveillance ciblée du syndrome du nez blanc (*white nose syndrome*).

Encadré 1 : La surveillance de la rage des chiroptères

Le dispositif de surveillance de la rage des chauves-souris s'appuie sur un réseau d'épidémiosurveillance événementiel (collecte de cadavres de chauves-souris), coordonné par l'Anses-Nancy en partenariat avec la SFPEM-groupe chiroptérologue, constitué par des bénévoles et des vétérinaires praticiens. A ce jour, seules trois espèces sur les 34 actuellement reportées sur le territoire sont montrées infectées par un Lyssavirus de chauves-souris. Les sérotines communes (94 cas) sont infectées par le Lyssavirus EBLV-1 communément isolé chez les chauves-souris en Europe, tandis que le Murin de Natterer (2 cas) et Minioptère de Schreibers (1 cas) sont respectivement infectés par les Lyssavirus BBLV et LLEBV qui ont été isolés plus récemment.

La détection chaque année de chauves-souris porteuses d'un Lyssavirus, de nouvelles espèces de Lyssavirus (ex : Kotalahti bat lyssavirus détecté chez un murin de Brandt en Finlande en 2017) et des cas de rage d'importation, soulignent la nécessité de maintenir et renforcer la surveillance épidémiologique de la rage dans toutes les régions.

Un jeune réseau, qui fonctionne...

Des évènements détectés chaque année, une participation hétérogène des régions

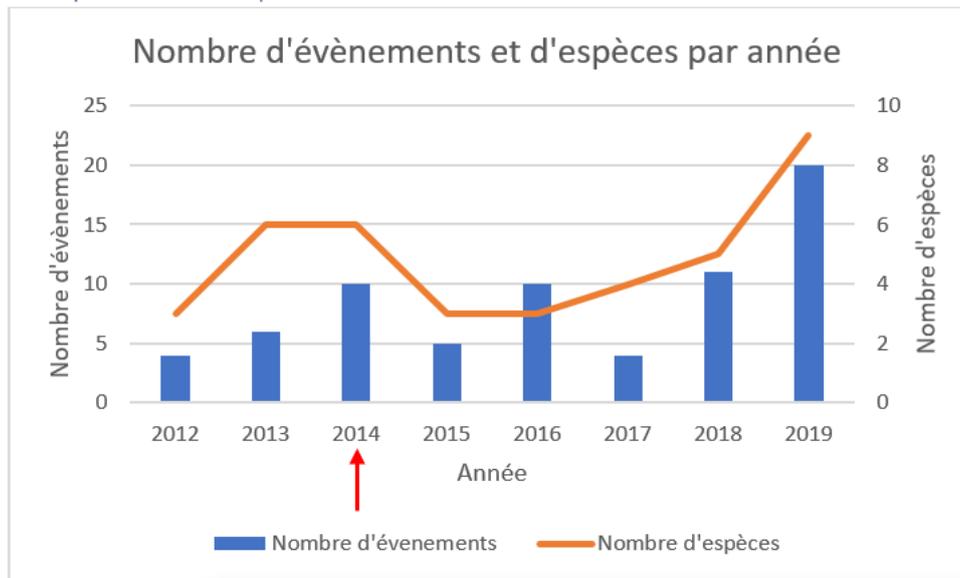


Figure 8 - Nombre d'évènements et nombre d'espèces déclarés au réseau SMAC selon les années.

De 2012 à décembre 2019, 70 évènements de mortalité anormale ont été analysés dont 60 dans le cadre du réseau SMAC depuis sa création en 2014 (figure 8). En 2019, 20 évènements concernant 9 espèces ont été déclarés dans 10 régions différentes. Cette augmentation aussi bien du nombre d'évènements que de la diversité d'espèces et de territoires par rapport aux années précédentes est probablement plus le fait d'une montée en puissance du réseau SMAC que d'une réelle augmentation de la mortalité. Les résultats décrits ci-après prennent en compte l'ensemble des évènements affectant les chauves-souris, y compris ceux décrits avant la création du réseau SMAC.

Même si le nombre d'évènements annuel reste relativement faible et si la participation des différentes régions est encore hétérogène, le réseau SMAC assure malgré tout une bonne couverture spatiale puisque des évènements déclarés proviennent de toutes les régions de la France métropolitaine (sauf l'Île-de-France et la Corse), et d'une région de l'Outre-mer, La Réunion (tableau 12).

Tableau 9- Distribution des évènements par région et période biologique.

Nombre d'évènements par région et par période biologique					
Régions / Périodes biologiques	Hibernation	Transit printanier	Mise-bas	Transit automnal	Total général
Auvergne – Rhône-Alpes	-	-	3	1	4
Bourgogne-Franche-Comté	1	-	11	1	13
Bretagne	1	-	1	-	2
Centre-Val-de-Loire	1	-	2	-	3
Grand Est	-	-	3	1	4
Hauts-de-France	1	-	2	1	4
Normandie	-	-	2	5	7
Nouvelle Aquitaine	1	1	1	1	4
Occitanie	2	1	14	4	21
Pays de la Loire	-	-	3	2	5
Provence-Alpes-Côte d'Azur	-	-	1	1	2
La Réunion	-	-	1	-	1
Total général	7	2	44	17	70

Dix-huit espèces différentes de chauves-souris prises en charge

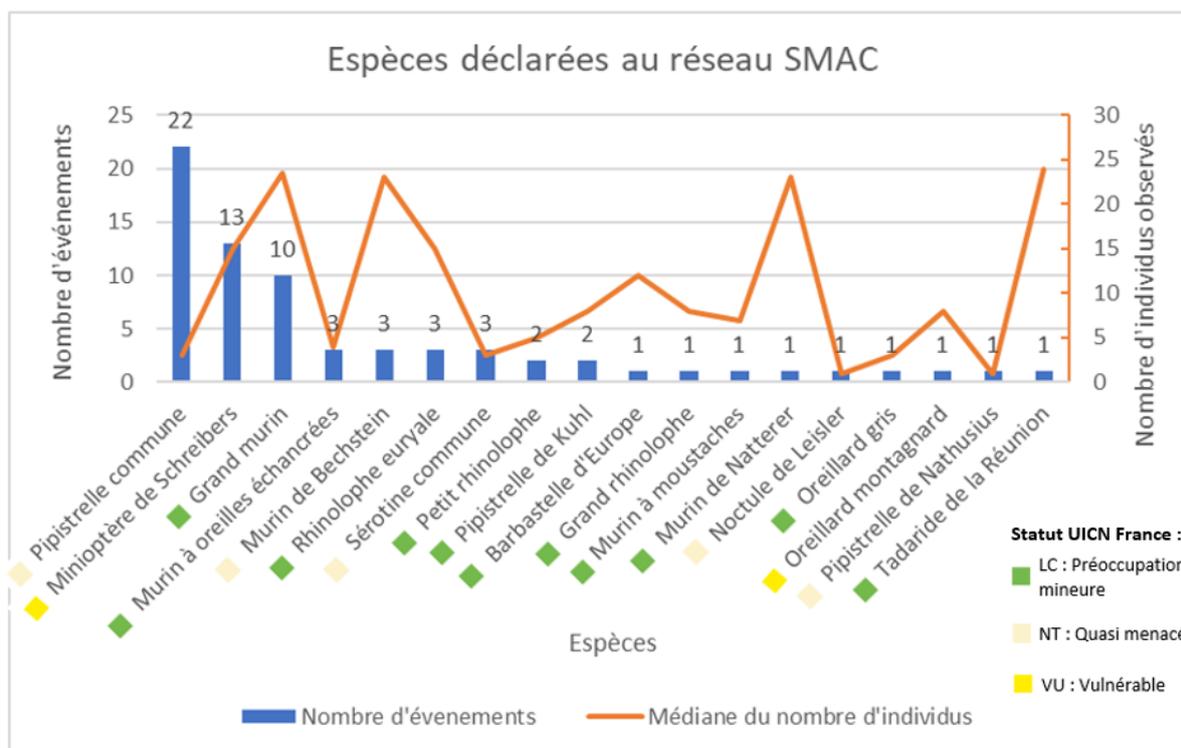


Figure 9 - Espèces de chauves-souris déclarées au réseau SMAC

Trois espèces de chauves-souris concentrent 65% des évènements (45/70) : la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*, $n=22/70$), le Minoptère de Schreibers (*Miniopterus schreibersii*, $n=13/70$) et le Grand Murin (*Myotis myotis* $n=10/70$) (fig.9).

Les médianes du nombre de cadavres par évènement les plus élevées (environ 20 cadavres par évènement) sont en revanche enregistrées pour les espèces suivantes : Grand murin, Murin de Bechstein (*Myotis bechsteinii*), Murin de Natterer (*Myotis nattereri*) et Tadaride de la Réunion (*Mormopterus francoismoutoui*).

Douze des dix-huit espèces déclarées dans le cadre de SMAC sont des espèces bien distribuées sur l'ensemble du territoire métropolitain. Ces espèces pourraient servir de sentinelles pour d'autres espèces plus rares et sympatriques du fait des caractéristiques suivantes : espèces ayant une large répartition territoriale, pour lesquelles il existe une relative bonne connaissance de leur biologie et de leur aire de répartition (comme la Pipistrelle commune). Certaines espèces dont la répartition est plus localisée sont également bien représentées dans les évènements SMAC. C'est le cas du Minioptère de Schreibers, espèce largement répartie dans le monde mais considérée comme vulnérable par l'UICN, ou encore du Rhinolophe euryale (*Rhinolophus euryale*) dont la répartition se limite au pourtour méditerranéen, la Transcaucasie et l'Iran et considérée comme quasi menacé par l'UICN. La prise en charge de mortalité d'espèces telles que l'Oreillard montagnard (*Plecotus macbullaris*) espèce principalement inféodée aux massifs montagneux, ou la Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*), espèce migratrice, est à souligner. Notons que le Murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*) n'est pas représenté alors que cette espèce est largement répartie sur le territoire.

Des signalements surtout en période de reproduction et de transit automnal

Les périodes de mise bas et de transit automnal (Annexe 1) concentrent 87% (61/70) des évènements avec respectivement 44 et 17 évènements (tableau 13). C'est également à ces périodes qu'on observe le plus grand nombre d'individus affectés par évènement (médiane des cadavres par évènement supérieur ou égal à 20) (tableau 2). Pendant la période de mise bas, la mortalité de juvéniles et d'adultes est décrite, avec des évènements impliquant parfois les deux catégories d'âge. Une plus grande susceptibilité aux infections durant la période de gestation et de lactation a été démontrée chez de nombreux mammifères et est fortement suspectée chez les chiroptères (Plowright et al., 2008 ; Banerjee et al., 2020). Cette hypothèse couplée à celle d'un système immunitaire moins compétent chez les juvéniles (Plowright et al., 2008) pourrait expliquer une plus grande circulation d'agents infectieux ou une plus forte expression de processus morbide par ces populations à risque. En outre, mise bas et transit automnal sont des périodes de regroupement intraspécifique, voire interspécifique pour certaines espèces (ex : colonies mixtes de *Rhinolophus ferrumequinum* et *Myotis emarginatus*) tout à fait favorables à la transmission d'agents infectieux. La période d'essaimage (swarming) qui a lieu lors du transit automnal - décrite chez des espèces d'oreillards et de murins - correspond à la période des accouplements ce qui favorise le flux de gènes dans les populations, mais également les échanges d'agents infectieux. Ces rassemblements peuvent aussi favoriser l'exposition aux prédateurs (Brighton et al., 2020 ; Kerth et al., 2003 ; Horton et al., 2020).

Tableau 10 – Distribution des événements selon l'espèce, l'âge et la période biologique

Nombre d'événements et médiane du nombre de cadavres découverts selon les espèces et la période biologique					
Espèce	Hibernation	Transit printanier	Mise-bas	Transit automnal	Total Sous-total
Total :	Nombre d'événements [Médiane du nombre de cadavres]				
Sous-total :	Adulte Mixte Juvénile Ne sait pas				
Barbastelle d'Europe	-	-	1 [12]	-	1 [12]
Grand murin	1 [1]	-	9 [25]	-	10 [23]
Grand Rhinolophe	-	-	1 [8]	-	1 [8]
Minioptère de Schreibers	1 [38]	1 [6]	10 [15]	1 [15]	13 [15]
Murin à moustaches	1 [7]	-	-	-	1 [7]
Murin à oreilles échanquées	-	-	2 [14]	1 [1]	3 [4]
Murin de Bechstein	-	-	1 [35]	2 [14]	3 [23]
Murin de Natterer	-	-	-	1 [23]	1 [23]
Noctule de Leisler	1 [1]	-	-	-	1 [1]
Oreillard gris	-	1 [3]	-	-	1 [3]
Oreillard montagnard	-	-	-	1 [8]	1 [8]
Petit rhinolophe	-	-	1 [9]	1 [1]	2 [5]
Pipistrelle commune	2 [1]	-	13 [3]	7 [8]	22 [3]
Pipistrelle de Kuhl	1 [15]	-	-	1 [1]	2 [8]
Pipistrelle de Nathusius	-	-	-	1 [1]	1 [1]
Rhinolophe euryale	-	-	2 [18]	1 [15]	3 [15]
Sérotine commune	-	-	3 [3]	-	3 [3]
Tadaride de la Réunion	-	-	1 [24]	-	1 [24]
Total	7 [2]	2 [4]	44 [10]	17 [8]	70 [8]
Sous-total	3 [2] 1 [1] 3 [6]	1 [3] 1 [6]	8 [3] 5 [35] 20 [17] 11 [8]	4 [8] 1 [85] 3 [6] 9 [15]	16 [3] 6 [36] 24 [11] 24 [6]

...Mais dont les processus d'observation sont encore mal connus

De nombreux facteurs influençant la découverte

La découverte d'un cadavre est très aléatoire. Elle dépend du protocole organisant la recherche de cadavres (méthode de suivi et fréquence de passage, accessibilité aux sites, motivation et intérêt pour l'espèce, capacité de détecter des processus anormaux et moyens financiers), de la densité de cadavres, du comportement social des animaux (solitaire, grégaire), de leur biologie (e.g. fissuricoles vs suspendues), de leur habitat (cavernicole, arboricole, anthropophile), du type et de l'ouverture du milieu de découverte. D'autres facteurs interviennent comme le temps de persistance des cadavres, soumis à l'action des nécrophages. Les conditions météorologiques

interviennent également à plusieurs niveaux sur ces facteurs (observateur, temps de persistance des cadavres) (Mineau et Collins 1988 ; Tobin and Dolbeer, 1990 ; Ward et al. 2006 ; Preece ; (Preece et al., 2017 ; Wobeser, 1992)

Des modalités d'observation des cadavres qui diffèrent

Il est intéressant de constater que 32 évènements sur 70 ont eu lieu dans des sites connus et suivis par les chiroptérologues et que 38 sont survenus dans des sites ne faisant l'objet d'aucun suivi particulier (signalement par des particuliers par exemple). Au moins deux modalités de surveillance coexistent donc, l'une de type opportuniste (échantillonnage non contrôlé qui repose sur la détection fortuite de mortalité par un large public) et l'autre de type planifiée (à l'occasion de suivi régulier d'espèces avec des protocoles bien définis en termes de fréquence, de sites et d'espèces).

Ces modalités d'observation influencent donc probablement largement la distribution spatiale, temporelle et spécifique des évènements. A titre d'exemple, 16 évènements sur 22 ont impliqué des pipistrelles communes découvertes par des particuliers. Ceci s'explique par les mœurs anthropophiles de ces chauves-souris qui contribuent à une meilleure détectabilité des cas. A l'inverse, le Minioptère de Schreibers et le Grand murin ont principalement été découverts dans le cadre de suivi de colonies. Les populations de Minioptère de Schreibers sont en effet particulièrement surveillées depuis les épisodes de forte mortalité survenus en 2002. De manière générale, les espèces « suspendues » et grégaires (Rhinolophes, Murin à oreilles échancrées, Grand Murin), font plus l'objet de comptages lors de l'hibernation ou de la mise bas que les espèces fissuricoles, moins visibles et plus parsemées. Malgré l'augmentation du nombre d'évènements au cours de ces cinq années depuis la mise en place du réseau SMAC, le nombre de cas référencés au cours de ces cinq années de suivi n'est pas encore suffisant pour tester statistiquement l'influence de certains facteurs (répartition spatiale, pression d'observation, caractéristiques biologiques, etc.) sur la distribution des espèces.

De quoi meurent les chiroptères ?

La détection des maladies repose sur une démarche diagnostique. On recherche donc à déterminer la cause proximale⁷ de la mort mais également tous les processus morbides qui y ont contribué. Quand l'état du cadavre et la logistique de terrain le permettent, examens nécropsique et histologique sont systématiquement mis en place. Les examens complémentaires à mettre en œuvre sont à l'appréciation du pathologiste qui s'appuie à la fois sur les commémoratifs (circonstances de la mort), les signes cliniques, la biologie de l'espèce, le tableau lésionnel, l'état du cadavre et les organes disponibles.

Trois grands processus morbides identifiés : l'épuisement physiologique, les traumatismes et les infections

Tableau 11 – Causes de mortalité selon les espèces et les périodes biologiques

Espèce / Période biologique	Causes proximales des mortalités des évènements SMAC				Total général
	Hibernation	Transit printanier	Maternité	Transit automnal	
Total :	Cause proximale (nombre d'évènements)				
Barbastelle d'Europe			Mort-né (1) Inconnu (1)		Mort-né (1) Inconnu (1)
Grand murin	Inconnu (1)		Epuisement physiologique (3) Infectieux (3) Inconnu(6)		Epuisement physiologique (3) Infectieux (3) Inconnu (7)
Grand rhinolophe Minioptère de Schreibers	Infectieux (1)	Inconnu (1)	Traumatisme (1) Epuisement physiologique (4) Mort-né (1) Inconnu (7)	Inconnu (1)	Traumatisme (1) Epuisement physiologique (4) Infectieux (1) Mort-né (1) Inconnu (9)
Murin à moustaches	Infectieux (1)				Infectieux (1) Epuisement physiologique (1) Traumatisme (1) Inconnu (1)
Murin à oreilles échancrées			Traumatisme (1) Inconnu (1)	Epuisement physiologique (1)	Infectieux (2) Traumatisme (1) Traumatisme (1)
Murin de Bechstein			Infectieux (1)	Traumatisme (1)	Traumatisme (1)
Murin de Natterer				Traumatisme (1)	Traumatisme (1)
Noctule de Leisler	Traumatisme (1)				Traumatisme (1)
Oreillard gris		Inconnu (1)			Inconnu (2)
Oreillard montagnard				Inconnu (1)	Inconnu (1)
Petit rhinolophe			Inconnu (1)	Inconnu (1)	Inconnu (1) Epuisement physiologique (3) Infectieux (2) Traumatisme (5) Inconnu (11)
Pipistrelle commune	Epuisement physiologique (1) Inconnu (1)		Traumatisme (3) Infectieux (2) Inconnu (6)	Epuisement physiologique (2) Traumatisme (2) Inconnu (4)	Epuisement physiologique (1) Inconnu (1)
Pipistrelle de Kuhl	Epuisement physiologique (1)			Inconnu (1)	Inconnu (1)
Pipistrelle de Nathusius				Traumatisme (1)	Traumatisme (1)
Rhinolophe euryale			Epuisement physiologique (1) Inconnu (1)	Inconnu (1)	Epuisement physiologique (2) Inconnu (1)
Sérotine commune			Epuisement physiologique (2) Inconnu (1)		Epuisement physiologique (2) Inconnu (1)

⁷ Cause ultime de la mort avec ou sans processus sous-jacent.

Tadaride de la Réunion		Traumatisme (1)		Traumatisme (1)	
Total général	Epuisement physiologique (2)	Inconnu (2)	Epuisement physiologique (10)	Epuisement physiologique (3)	Epuisement physiologique (15)
	Infectieux (2)		Infectieux (6)	Infectieux (1)	Infectieux (9)
	Traumatisme (1)		Traumatisme (6)	Traumatisme (5)	Traumatisme (12)
	Inconnu (2)		Mort-né (2)	Inconnu (9)	Mort-né (2)
			Inconnu (24)		Inconnu (37)

Trois grands processus morbides ont été identifiés i) l'épuisement physiologique (n=15/70⁸, ii) les traumatismes (n=12/70), iii) les infections (n=9/70) (Tableau 14). Pour 37 évènements, aucune cause de mortalité n'a pu être déterminée, en partie parce que les cadavres étaient trop dégradés pour être autopsiés (n=14/37). En Allemagne, une étude s'est intéressée aux causes de mortalité chez les chauves-souris de 2002 à 2009 (Mühldorfer, Speck, Wibbelt, 2011). Les principales causes identifiées étaient les traumatismes (33,5%), dus en particulier à la prédation, et les agents infectieux (33,3 %).

L'épuisement physiologique (c'est-à-dire, l'épuisement des ressources de l'animal) se traduit à l'autopsie par l'observation d'un amaigrissement marqué, d'une amyotrophie et/ou d'une vacuité digestive (chez des juvéniles). Le principal mécanisme suspecté d'être à l'origine de l'épuisement physiologique est un stress environnemental aigu. En effet, pour les 15 évènements dont il est la cause proximale, aucun agent causal n'a été mis en évidence. L'épuisement physiologique a été décrit chez des adultes dans un contexte de claustration ou chez des juvéniles lors de suspicion d'abandon par les adultes ou de chute au sol suite à de possibles mouvements de panique dans la colonie.

Les traumatismes se distribuent de la façon suivante : prédation (n= 6/12), collision avec des véhicules (n= 1/12), tir (n= 1/12), éoliennes (n=1/12), origine indéterminée (n=3/12). Dans le cas des prédatations, les lésions ne sont pas toujours présentes, ni caractéristiques ; c'est souvent l'analyse épidémiologique couplée à des outils tels que les pièges photographiques ou vidéo qui permettent d'objectiver la prédation ou au moins la tentative de prédation (Encadré 2). Les suspicions de prédation se concentrent lors des périodes de reproduction et de transit automnal qui sont aussi les périodes d'agrégation et de forte activité des chauves-souris. Les traumatismes dus aux éoliennes par collision directe ou par barotraumatisme sont ici très peu représentés car ils font l'objet de suivis spécifiques en dehors du réseau SMAC. Bien que toutes les espèces de chiroptères soient protégées en France, un évènement de mort traumatique par utilisation délibérée de projectiles (billes de Paint-ball) a pu être mis en évidence par le réseau SMAC.

Si les traumatismes sont souvent diagnostiqués avec certitude, les diagnostics relatifs aux causes environnementales ou infectieuses restent bien souvent des diagnostics de suspicion. Il est, par exemple, difficile de juger du rôle réel d'un agent infectieux compte tenu de l'immunité particulière des chiroptères, du portage asymptomatique vis-à-vis de nombreux germes (Wong et al., 2007), et des biais d'analyse dus aux envahissements bactériens post-mortem. Pour cela, les examens histologiques sont

⁸ Pour un évènement, il peut y avoir plusieurs processus morbides différents, c'est pourquoi le cumul des processus morbides est supérieur au nombre total d'évènements.

indispensables pour relier un agent infectieux à une lésion mais ne sont pas toujours possibles étant donné l'état et les modes de conservation (congélation) des cadavres. L'imputabilité est en effet le point critique du diagnostic et nécessite souvent d'accumuler des données sur le long terme afin de comparer les cas et d'y repérer des similitudes.

Encadré 2 : Diagnostic de prédation, un cas d'école

En octobre 2016, dans l'Eure, 30 cadavres appartenant à cinq espèces différentes de *Myotis* étaient découverts morts à l'entrée d'une cavité protégée par une grille. Aucun individu n'a été retrouvé mort à l'intérieur de la cavité. L'agrégation des cadavres autour de la grille et le caractère multi spécifique de la mortalité orientait vers un **processus suraigu de type traumatique**. Par ailleurs, la présence de cadavres à différents stades de décomposition indiquait une dispersion temporelle de la mortalité et donc un **problème persistant dans le temps**. L'observation fine des cadavres à partir des photos disponibles suggérait que les animaux n'étaient pas morts en vol mais encore vivants au sol et l'observation d'une lésion sur l'un des cadavres permettait d'affiner les hypothèses traumatiques et de suspecter l'action d'un prédateur. L'état de conservation des cadavres ne permettait pas de mettre en œuvre un examen nécropsique et des examens complémentaires. Des pièges photographiques ont donc été installés pour valider l'hypothèse diagnostique et ont permis de confirmer la prédation par un chat. Un dispositif de protection spécifique a été installé qui a permis de stopper la mortalité.

La mortalité des juvéniles : un indicateur de dérangement ?

Sur l'ensemble de la période d'étude, 16 événements impliquent seulement des adultes, 24 des juvéniles⁹ et 6 à la fois des adultes et des juvéniles. Il est à noter que pour 24 événements l'âge n'a pu être déterminé. Parmi les événements impliquant des juvéniles, 14 concernent des cadavres trouvés au sol (Minoptère de Schreibers, Grand Murin principalement) et 2 des cadavres accrochés au mur (Sérotine commune). La mortalité des juvéniles trouvés au sol se distribue comme suit : épuisement physiologique (n=7), mort-nés sans détermination de la cause (n=2) et causes indéterminées (n=10). Pour qu'une chauve-souris chute au sol, il y a nécessairement eu une phase de décrochage actif (du moins pour les espèces suspendues). La présence d'individus au sol pourrait donc être révélateur i) d'un mouvement de panique dans l'essaim suite à l'introduction d'un prédateur ou à un dérangement d'une autre nature, ii) d'un abandon des jeunes par les adultes entraînant une chute liée à l'affaiblissement ou à un essai d'envol précoce.

Par ailleurs, deux événements ont relaté la présence de mort-nés chez des barbastelles d'Europe et des minioptères de Schreibers, dont la cause suspectée serait un stress aigu (prédation ou dérangement) des mères en fin de gestation. Des avortements ont en effet déjà été décrits chez les chauves-souris suite à un stress intense lié à des manipulations ou à une mise en captivité (Heideman, 2000).

La mortalité massive des juvéniles ou la mortinatalité pourrait donc être des indicateurs de l'état de santé des adultes ou d'un dérangement de la colonie. Des études complémentaires sont néanmoins nécessaires pour valider de tels indicateurs.

Une acquisition de connaissance sur la distribution d'agents infectieux dans les cadavres

⁹ Sont considérés comme juvéniles, les individus dont l'ossification des cartilages de conjugaison n'est pas complète

Dans le cadre du réseau SMAC des bactériologies ont été réalisées pour 19 évènements. Certaines bactéries, lorsqu'elles ont été détectées, ont été associées à une suspicion de septicémie (*Carnobacterium maltaromaticum*, *Staphylococcus* sp.), l'implication d'autres dans le processus morbide n'était pas toujours évidente (*Hafnia alvei*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Morganella morganii*, ...). Lors de leur travail en Allemagne Mülhdorfer et al. (2011) ont isolé principalement les bactéries *Enterococcus faecalis*, *Hafnia alvei* et *Serratia liquefaciens*. L'agrégation et l'accumulation des données microbiologiques et nécropsiques au sein d'une même base de données permettra probablement dans le futur de mieux comprendre la contribution de ces bactéries à la mort des animaux, et d'attribuer de façon rétrospective dans certains cas une cause aux évènements.

Conclusion

Le réseau SMAC est un jeune réseau qui est rapidement devenu opérationnel, en particulier parce qu'il s'est appuyé lors de son démarrage sur des réseaux préexistants. Même si le nombre d'évènements annuel reste faible, il a malgré tout permis depuis sa création de prendre en charge 60 évènements. La littérature étant à ce jour peu fournie sur les maladies à enjeu pour la conservation des chiroptères, il faudra sans doute des années pour acquérir des connaissances et une compétence diagnostique. Ces premières années de surveillance permettent néanmoins de dégager quelques hypothèses diagnostiques intéressantes. Les stress environnementaux (prédation, collision, dérangement) semblent par exemple constituer une part importante de la mortalité jugée anormale sur le terrain, mais pointent également la nécessité de développer des outils diagnostiques innovants empruntés notamment au domaine de l'écologie. Comme tout jeune réseau, ses marges de progression restent importantes et devront porter sur une meilleure détermination de l'âge des animaux, l'adaptation des modes de conservation des échantillons récupérés sur le terrain aux besoins diagnostiques, le développement d'outils diagnostiques adaptés aux problématiques et à l'état de dégradation parfois important des cadavres, l'amélioration de la connaissance des processus d'observation permettant de décrire plus fidèlement la distribution spatio-temporelle des affections des chauves-souris. Le réseau SMAC va permettre à terme d'acquérir un savoir-faire unique dans le diagnostic des maladies à enjeu pour les chiroptères, sur l'ensemble du territoire métropolitain et en Outre-mer. Cependant le caractère opportuniste de l'échantillonnage ne permet pas de mesurer l'amplitude des phénomènes observés, d'autres méthodes de surveillance devront donc compléter et s'articuler avec le réseau afin de quantifier l'impact des maladies diagnostiquées sur les populations de chiroptères.

Remerciements

Les auteurs remercient les chiroptérologues, les agents de l'OFB, et les laboratoires d'analyses départementaux investis dans la surveillance SMAC, mais également Faunapath, Toxlab, l'Université de Rouen Normandie, les vétérinaires libéraux et plus largement tous les observateurs qui signalent des cas au réseau.

Analyse du fonctionnement du réseau

L'un des objectifs de ce travail était aussi de comprendre les processus d'observation en jeu dans le cadre du réseau SMAC et comment faire progresser le diagnostic et le relevé des commémoratifs.

Description des processus de découverte, de collecte et d'analyse des évènements

Pression d'observation et fluctuation de la perception de la mortalité anormale

Le réseau SMAC repose sur une surveillance événementielle et syndromique. Ainsi le nombre d'évènements déclarés va dépendre d'une part du nombre d'évènements détectés et donc être influencé par la pression d'observation et d'autre part du seuil de mortalité que l'on considère comme anormal. Ce seuil de mortalité anormale reste subjectif et n'est pas fixe dans le temps. Il a fluctué notamment dans les premières années du réseau pour permettre d'entretenir la compétence nécropsique des laboratoires, de mieux comprendre les maladies pouvant jouer un rôle sur les populations de chiroptères et de s'assurer que des évènements considérés jusqu'à présent comme normaux sans examens complémentaires l'étaient réellement.

Typologie des découvreurs et des collecteurs

Le signalement d'un événement de mortalité anormale est réalisé à 60% (n= 41) par des scientifiques¹⁰ et à 40% (n=28) par du public non averti. Les collecteurs sont des bénévoles d'association de protection de la nature dans 66% (n=46) des cas et des agents officiels¹¹ dans 34% (n=24) des cas. Sur les lieux, l'objectif est de collecter le plus d'information pour permettre une compréhension globale de l'évènement. Une fiche préremplie SMAC (Annexe 3) permet de ne rien omettre et attribue un numéro à l'évènement.

Indicateurs de fonctionnement

Des photographies sont réalisées dans 27% (n=20) des évènements physiques. Les cadavres ont été congelés dans 52% (n=34) des évènements, réfrigérés dans 20% (n=13) et plus anecdotiquement conservés entiers dans du formol (6% ; n=4) ou à température ambiante (11% ; n=7), pour être ensuite transmis à un laboratoire départemental. La modalité de conservation principale est donc la congélation qui permet d'absorber les fortes contraintes logistiques liées à la transmission des cadavres (éloignement, disponibilité, etc.) mais exclut la mise en place de certaines analyses pourtant essentielle comme l'histologie qui nécessite des prélèvements frais et non congelés.

¹⁰ Sont considérés ici comme scientifiques les découvreurs sensibilisés à la conservation et à la biologie soient des scientifiques, des agents de l'OFB, des naturalistes, et des agents des parcs naturels.

¹¹ Les agents officiels sont des agents de l'OFB, de la DREAL, de la FNC ou des agents de parc naturel.

Les évènements de mortalité entrant dans le cadre du réseau SMAC concernent généralement un grand nombre d'individus, la médiane du nombre de cadavres par évènement étant de 8. Des échantillonnages sont donc réalisés et cela à toutes les étapes. Ainsi 67,5 % (n=548) des cadavres présents sont collectés, 78% (n=426) des animaux collectés sont transmis à un laboratoire et 64,5% (n=275) des animaux transmis sont analysés. Au final, seuls 34% (n=275) des cadavres observés seront analysés dans un laboratoire. Ce faible taux est généralement dû au mauvais état de conservation dans lequel sont retrouvés les chiroptères. En effet les laboratoires estiment que seulement 40% (n=111) des individus analysés sont dans un état de conservation correct.

L'intervalle de temps entre la découverte et la collecte se doit d'être le plus court possible pour permettre par la suite de travailler sur du matériel altéré au minimum. Actuellement ce délai est assez court avec 34% (n=24) des échantillons qui sont conservés le jour de la découverte. Toutefois pour 43% (n=30) des évènements ce délai n'est pas précisé (figure 10). A l'inverse, le délai entre la conservation et l'analyse en laboratoire est plus long mais souvent incompressible. C'est pourquoi il est important de proposer des méthodes de conservation permettant une conservation longue tout en garantissant la réalisation future d'analyses complémentaires. Notons que pour 48% des évènements ce délai n'est pas précisé.

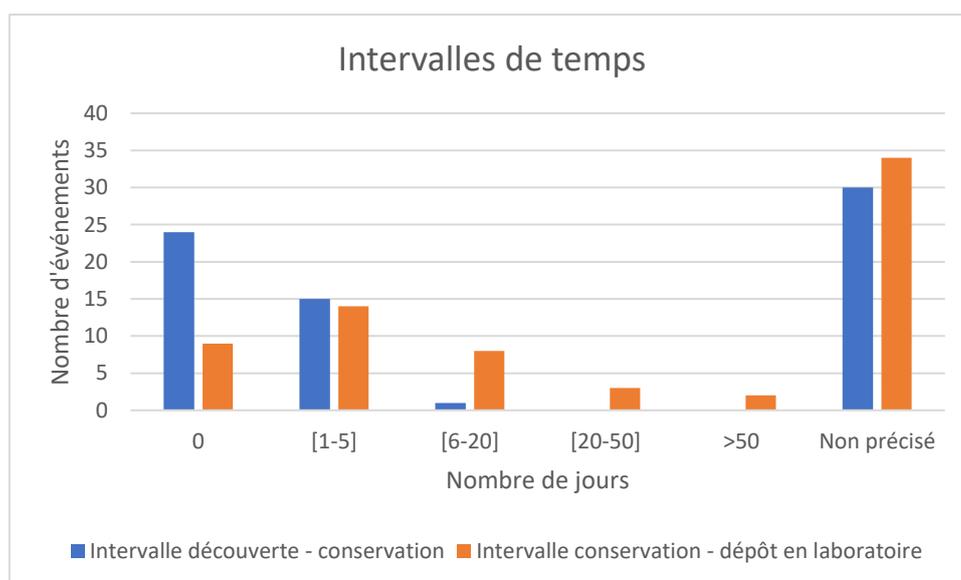


Figure 10 - Intervalles de temps entre les étapes de la collecte, de la conservation et du dépôt en laboratoire

Une fois dans les mains des laboratoires les individus subissent différents examens tels que des examens nécropsique (69% ; n=48) et histologiques (37% ; n=26), des analyses bactériologiques (33% ; n=23), parasitologiques (23% ; n=16), virologiques (21% ; n=15), toxicologiques (7% ; n=5) et mycologiques (4% ; n=3), des examens radiographiques (9% ; n=6). Chaque évènement est traité dans sa globalité ce qui permet la constitution de pools d'organes, nécessaires à la réalisation de certaines analyses compte tenu de la petite taille des chiroptères.

Des cas dits « numériques » peuvent également entrer dans le réseau. Ce sont les évènements pour lequel aucun cadavre n'a pu être prélevé sur place. Cela peut être dû à une accessibilité difficile, à une disparition des cadavres ou pour les cas où les individus ne sont pas morts mais présentent des signes cliniques d'intérêt. La constitution de cas numériques permet d'apporter un support audio-visuel par des

photographies ou des vidéos et une conservation de ces cas dans le réseau. Les hypothèses diagnostiques sont hiérarchisées en s'appuyant sur les éléments photographiques, épidémiologiques, cliniques et lésionnels et les commémoratifs.

Description des données

Pour de nombreux événements la description de l'évènement n'est pas complète (Figure 11), hors pour réaliser une analyse épidémiologique l'ensemble des informations est utile.

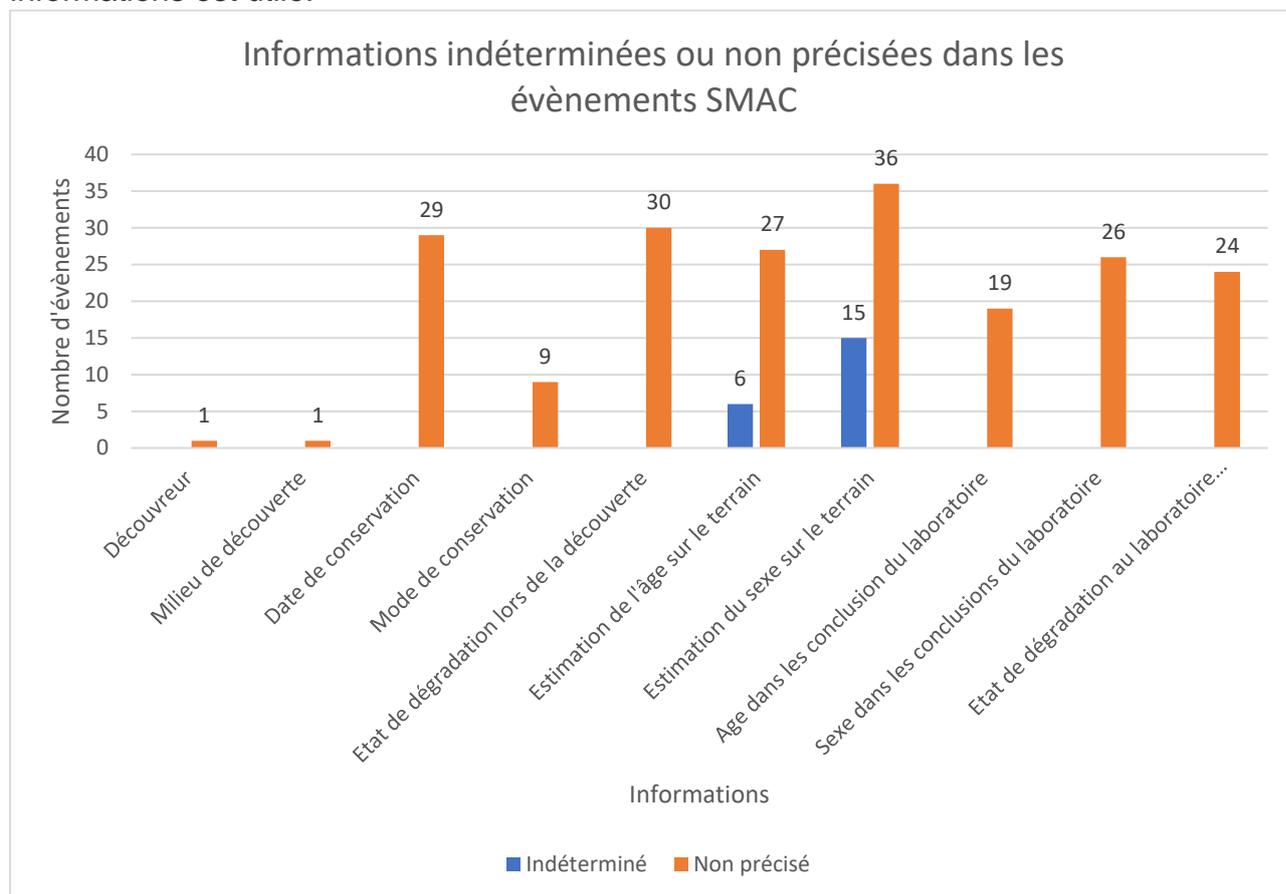


Figure 11 - Précision des informations indéterminées¹² ou non précisées sur le terrain et en laboratoire, pour un total de 70 évènements.

Examen des points critiques et propositions d'améliorations

D'après l'analyse du réseau réalisée, plusieurs points critiques apparaissent à la fois sur le terrain (prise de photographie, contrainte logistique de conservation, contrainte de l'état de conservation des cadavres, informations manquantes) et en laboratoire (choix des examens complémentaires, difficulté de certains diagnostics, ...).

Compte-tenu de l'analyse des événements et de la recherche bibliographique réalisées pour ce travail plusieurs pistes d'amélioration peuvent être proposées pour faciliter le fonctionnement du réseau et parvenir à une meilleure détermination des causes de mortalité.

¹² Mentionnées dans les commémoratifs comme « indéterminé »

Maîtrise du processus d'observation

Il est difficile d'influencer le processus d'observation puisqu'il repose sur la découverte fortuite d'une mortalité. Toutefois comprendre ce processus est primordial pour pouvoir interpréter les résultats obtenus ensuite.

Adaptation des systèmes de déclaration

Sur le terrain il est intéressant de constater que le public est à l'origine de la déclaration d'un grand nombre d'évènements. Proposer un moyen de contacter des chiroptérologues en cas de découverte de mortalité pour les particuliers est donc primordial. Dans de nombreuses régions des numéros « SOS chiro » ont été mis en place pour faciliter ce lien. De même, sensibiliser le public à la déclaration de cas de mortalité pourrait permettre un plus grand nombre de participations.

Après cinq ans de fonctionnement le réseau est connu dans le milieu des chiroptérologues et son utilisation se démocratise auprès des spécialistes. Toutefois certains cas observés n'aboutissent pas à une déclaration car les cadavres ne sont pas collectables ou analysables. Ces critères ne doivent pas constituer des critères d'exclusion en effet la possibilité de déclarer un cas numérique permet d'enregistrer les évènements où la collecte est impossible et la réalisation de radiographies peut apporter des informations même sur des cadavres desséchés. Ainsi les évènements numériques sont plus nombreux en 2019. Il faut donc sensibiliser les chiroptérologues à documenter des cas même lorsque les cadavres ne sont pas récupérables.

Amélioration de la prise de commémoratifs et de la récupération d'information sur le terrain

La fiche SMAC est issue de la fiche SAGIR utilisée dans le réseau du même nom. Elle a subi quelques modifications pour s'adapter à la biologie particulière des chiroptères. Toutefois au cours de l'analyse des données, il est apparu que certaines informations gagneraient à être ajoutées pour permettre une meilleure description. L'annexe 3 propose des modifications à apporter aux fiches SMAC pour permettre une meilleure prise des commémoratifs.

L'une des modifications proposées est la catégorisation du suivi du site de découverte. Cela permettrait de savoir si le lieu de découverte fait déjà l'objet d'un suivi particulier. Cette information est importante pour identifier et comprendre les biais de détection rencontrés dans ce réseau.

Les photographies des sites de découvertes ne sont pas encore systématiques. Pourtant elles apportent des informations capitales pour la compréhension globale de l'évènement. Multiplier la prise de clichés photographiques voir de vidéos sur le terrain permettrait d'améliorer l'interprétation des évènements.

La détermination du sexe et de l'âge des individus est aussi à améliorer. En effet pour 27% (n=19) des évènements l'âge n'était pas précisé ni par les collecteurs ni par le laboratoire (Fig.11). Proposer des définitions communes à tous les acteurs du réseau pourrait aussi être une étape nécessaire. Par exemple, les juvéniles sont définis par certains comme des individus dont l'ossification des cartilages de conjugaison n'est pas complète, pour d'autres comme des individus avec une fourrure et des dents de lait (Mühldorfer, Speck, Wibbelt, 2011). La définition la plus reconnue dans la communauté scientifique, la première, peut être facilement mise en pratique sur le

terrain comme en laboratoire par une transillumination des articulations de l'aile (Annexe 4). Pour 37% (n=26/70) des événements le sexe n'était pas précisé par les laboratoires ou les collecteurs. Bien que le dimorphisme sexuel soit important chez la plupart des *Verpertilionidae*, l'autopsie devrait permettre de déterminer précisément le sexe de l'individu, sauf si l'état de décomposition est trop avancé.

Amélioration de la collecte et de la conservation des cadavres

L'échantillonnage est souvent réalisé en épidémiologie et permet une analyse représentative d'une population tout en limitant les frais. Toutefois compte-tenu de la petite taille des chiroptères et des besoins importants en tissus pour certaines analyses, la collecte de tous les individus en cas de mortalité lorsque l'effectif des cadavres ne dépasse pas 50, et d'au moins 20% des cadavres si l'effectif est compris entre 50 et 100 et 10% si l'effectif est supérieur à 100, et ce, quel que soit l'état de conservation des cadavres, est recommandée.

Certaines analyses telles que l'histologie ne peuvent pas être réalisées suite à une congélation (Annexe 5). Le choix du mode de conservation est donc primordial. La réfrigération et la transmission sous 24h reste à privilégier. Néanmoins, les contraintes logistiques rendent difficile le respect de tels délais (Fig.10). Ainsi la conservation de cadavres entiers représentatifs de la mortalité (par exemple un juvénile et un adulte si plusieurs catégories d'âge sont touchées, ou un individu avec lésions et un sans, etc.) dans du formol après incision de la paroi abdominale et la congélation du reste des individus prélevés à -20°C dans un congélateur dédié reste la démarche recommandée. Cela permet de conserver correctement des individus pour la réalisation de l'ensemble des analyses possibles sans dégradation des tissus d'intérêt. La recherche systématique et la collecte de déjections, de pelotes de réjection, de plumes ou de poils à proximité des cadavres ou dans les gîtes est également à systématiser même si aucune suspicion de traumatisme ou de prédation n'est formulée à la découverte du cas.

La collecte d'autres éléments que les cadavres pourrait aussi s'avérer utile en seconde intention. Par exemple des recherches de virus, de bactéries, de toxiques et de parasites peuvent être réalisées sur du guano. Le ramassage de guano, dans la limite maximale de 1 kg, lors de mortalité inexplicée dans des gîtes pourrait apporter de précieuses informations.

Amélioration des analyses réalisées en laboratoire

Les laboratoires peuvent dans un premier temps apporter ou préciser des informations parfois difficilement interprétables sur le terrain. Par exemple la détermination de l'espèce peut se faire par PCR lors de doute sur l'identification.

Le laboratoire précise également l'état d'engraissement selon la couverture grasseuse, ce qui reste un critère subjectif dépendant de l'observateur. Pour uniformiser cette donnée, l'étude de Phelps *et al.* (2018) propose d'utiliser un indice de score corporel (ISC) développé pour les petites mammifères (Equation 1) par Peig et Green en 2009 (Phelps, Kingston, 2018 ; Peig, Green, 2009). Le calcul de cet indice prend en compte la masse et la taille de l'individu par rapport aux moyennes de son espèce. Ainsi un index haut suppose un score corporel haut et donc une plus grande réserve énergétique.

$$ISC = Mi (LO / Li)^{bsma}$$

Équation 1 : Indice de score corporel corrigé par la taille.

Mi = masse corporelle individu (g) Li = Longueur avant-bras individu (mm)

LO = Moyenne de la longueur des avant-bras de l'espèce

$bsma$ = dérivé de la régression standardisée de l'axe majeur de M sur L

Toutefois cette formule est destinée à être utilisée sur des individus vivants. La perte d'eau et l'état de conservation des cadavres peuvent fausser ce calcul. Coupler cette formule à l'estimation subjective de la couverture grasseuse peut permettre d'uniformiser l'évaluation du score corporel. Toutefois les réserves grasseuses des chiroptères sont variables au cours du temps et leur estimation doit prendre en compte le stade physiologique (allaitement, gestation, reproduction, hibernation), la période de l'année et les caractéristiques de l'espèce (migratrice, etc ...).

Certaines analyses gagnent aussi à être démocratisées lors de l'analyse d'évènements de mortalité de chiroptères comme les radiographies. Certaines études démontrent que la détection de fractures par examen visuel n'est que 33% (Grotsky et al., 2011) par rapport à la détection par radiographie. Cette analyse est de plus peu coûteuse puisqu'un grand nombre d'individus peuvent être placés sur une même plaque. Elle permet par ailleurs une meilleure cartographie, caractérisation et typologie des lésions traumatiques qui sont très utiles pour déterminer la nature (collision, prédation) et le moment du trauma (en vol). De plus une étude récente a prouvé que seulement 20% des cadavres présentaient de nouvelles fractures après une chute de plusieurs dizaines de mètres de hauteur (Grotsky et al., 2011).

Des fiches détaillant les modes de consommation (retrait des ailes, corps entier, organes spécifiques) et caractérisant les traces pouvant être observées sur les cadavres selon les prédateurs pourraient faciliter le diagnostic.

Pour la réalisation d'examen histologique un protocole harmonisé est rédigé. Des mises à jour peuvent y être ajoutées pour le faire évoluer en fonction des retours d'expériences et des avancées dans la bibliographie.

Lors de suspicion de prédation ou de dérangement, la surveillance vidéo permet souvent de poser un diagnostic définitif. La mise en place de pièges photographiques et vidéo peut être systématisée notamment dans des sites suivis où des colonies sont attendues tous les ans ou sur des sites de mortalité fréquente sans causes déterminées. Ce système permet souvent de stopper la prédation ou le dérangement en comprenant les méthodes utilisées.

Conclusion

Le réseau SMAC est un jeune réseau qui est rapidement devenu opérationnel, en particulier parce qu'il s'est appuyé à son démarrage sur des réseaux préexistants. Même si le nombre d'évènements annuel reste faible, il a malgré tout permis depuis sa création de prendre en charge 60 évènements. La littérature étant à ce jour peu fournie sur les maladies à enjeu pour la conservation des chiroptères, il faudra encore plusieurs années pour acquérir des connaissances et une compétence diagnostique solides. Ces premières années de surveillance permettent néanmoins de dégager quelques hypothèses diagnostiques intéressantes. Les stress environnementaux (prédation, collision, dérangement) semblent par exemple constituer une part importante de la mortalité jugée anormale sur le terrain, mais pointent également la nécessité de développer des outils diagnostiques innovants empruntés notamment au domaine de l'écologie. Comme tout jeune réseau, ses marges de progression sont importantes et portent entre autres sur la détermination de l'âge, l'adaptation des modes de conservation sur le terrain aux besoins diagnostiques, le développement d'outils diagnostiques adaptés aux problématiques et à l'état de dégradation parfois important des cadavres, l'amélioration de la connaissance des processus d'observation permettant de décrire plus fidèlement la distribution spatio-temporelle des affections des chauves-souris. Le réseau SMAC va permettre à terme d'acquérir un savoir-faire unique dans le diagnostic des maladies à enjeu pour les chiroptères, sur l'ensemble du territoire métropolitain et en Outre-mer. Cependant le caractère opportuniste de l'échantillonnage ne permet pas de mesurer l'amplitude des phénomènes observés, d'autres méthodes de surveillance devront donc s'articuler avec le réseau afin de quantifier l'impact des maladies diagnostiquées sur les populations.

Ce travail a permis, après cinq ans de fonctionnement, de faire un bilan sur le fonctionnement de réseau autant sur les résultats épidémiocliniques que sur son fonctionnement interne. Le travail bibliographique en amont et le travail de collecte des données pour chaque évènement a permis de proposer des améliorations pour optimiser le fonctionnement du réseau de surveillance à toutes les étapes.

Bibliographie

- AFONSO, E. et GOYDADIN, A.-C., 2018. Molecular detection of *Anaplasma phagocytophilum* DNA in the lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros*) guano. In : *Epidemiology and Infection*. juillet 2018. Vol. 146, n° 10, p. 1253-1258. DOI 10.1017/S0950268818001279.
- ALTRINGHAM, 2008. *BAT ECOLOGY AND MITIGATION*. S.l. : s.n.
- ANCILLOTTO, Leonardo, SERANGELI, Maria Tiziana et RUSSO, Danilo, 2013. Curiosity killed the bat: Domestic cats as bat predators. In : *Mammalian Biology*. septembre 2013. Vol. 78, n° 5, p. 369-373. DOI 10.1016/j.mambio.2013.01.003.
- ANDREIA GARCÊS, 2017. Causes of morbidity and mortality of bats in a wildlife recovery center in Portugal. In : *Barbastella* [en ligne]. 1 mars 2017. Vol. 10, n° 1. [Consulté le 19 mars 2020]. DOI 10.14709/BarbJ.10.1.2017.08. Disponible à l'adresse : http://secemu.org/wp-content/uploads/2018/05/Garces_et_al_2017.pdf.
- ANDREIA GARCÊS, 2018. Necropsy findings and causes of mortality in wild birds in a Center for Rehabilitation of Wild Animals in the North of Portugal. In : . 2018.
- ARNETT, 2005. *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*. 2005. S.l. : s.n.
- ARNETT AND AL., 2007. Impacts of Wind Energy Facilities on Wildlife and Wildlife Habitat. In : *Technical Review 07-2*. septembre 2007.
- ARNETT, Edward B., BROWN, W. Kent, ERICKSON, Wallace P., FIEDLER, Jenny K., HAMILTON, Brenda L., HENRY, Travis H., JAIN, Aaftab, JOHNSON, Gregory D., KERNS, Jessica, KOFORD, Rolf R., NICHOLSON, Charles P., O'CONNELL, Timothy J., PIORKOWSKI, Martin D. et TANKERSLEY, Roger D., 2008. Patterns of Bat Fatalities at Wind Energy Facilities in North America. In : *Journal of Wildlife Management*. janvier 2008. Vol. 72, n° 1, p. 61-78. DOI 10.2193/2007-221.
- ARNETT, Edward B, HUSO, Manuela MP, SCHIRMACHER, Michael R et HAYES, John P, 2011. Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. In : *Frontiers in Ecology and the Environment*. mai 2011. Vol. 9, n° 4, p. 209-214. DOI 10.1890/100103.
- AUGROS ET AL., 2015. *La cohabitation entre l'homme et les microchiroptères à La Réunion : bilan actualisé, retours d'expérience et outils de conservation*. 2015. S.l. : s.n.
- BACH AND RAHMEI, 2004. SUMMARY OF WIND TURBINE IMPACTS ON BATS – ASSESSMENT OF A CONFLICT. In : *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz*. S.l. : s.n. p. 245-252.
- BAERWALD, Erin F., [sans date]. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. In : .
- BAERWALD, Erin F., D'AMOURS, Genevieve H., KLUG, Brandon J. et BARCLAY, Robert M.R., 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. In : *Current Biology*. août 2008. Vol. 18, n° 16, p. R695-R696. DOI 10.1016/j.cub.2008.06.029.
- BAKER, James K., 1962. The Manner and Efficiency of Raptor Depredations on Bats. In : *The Condor*. novembre 1962. Vol. 64, n° 6, p. 500-504. DOI 10.2307/1365473.
- BANERJEE, Arinjay, BAKER, Michelle L., KULCSAR, Kirsten, MISRA, Vikram, PLOWRIGHT, Raina et MOSSMAN, Karen, 2020. Novel Insights Into Immune Systems of Bats. In : *Frontiers in Immunology*. 24 janvier 2020. Vol. 11, p. 26. DOI 10.3389/fimmu.2020.00026.

- BARCLAY, Robert M.R., BAERWALD, E.F. et GRUVER, J.C., 2007. Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. In : *Canadian Journal of Zoology*. février 2007. Vol. 85, n° 3, p. 381-387. DOI 10.1139/Z07-011.
- BENZARTI, Emna, SARLET, Michaël, FRANSSSEN, Mathieu, CADAR, Daniel, SCHMIDT-CHANASIT, Jonas, RIVAS, Jose Felipe, LINDEN, Annick, DESMECHT, Daniel et GARIGLIANY, Mutien, 2020. Usutu Virus Epizootic in Belgium in 2017 and 2018: Evidence of Virus Endemization and Ongoing Introduction Events. In : *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. 1 janvier 2020. Vol. 20, n° 1, p. 43-50. DOI 10.1089/vbz.2019.2469.
- BERTHINUSSEN, Anna et ALTRINGHAM, John, 2012. The effect of a major road on bat activity and diversity: *Effect of a major road on bat activity*. In : *Journal of Applied Ecology*. février 2012. Vol. 49, n° 1, p. 82-89. DOI 10.1111/j.1365-2664.2011.02068.x.
- BLEHERT, D. S., HICKS, A. C., BEHR, M., METEYER, C. U., BERLOWSKI-ZIER, B. M., BUCKLES, E. L., COLEMAN, J. T. H., DARLING, S. R., GARGAS, A., NIVER, R., OKONIEWSKI, J. C., RUDD, R. J. et STONE, W. B., 2009. Bat White-Nose Syndrome: An Emerging Fungal Pathogen? In : *Science*. 9 janvier 2009. Vol. 323, n° 5911, p. 227-227. DOI 10.1126/science.1163874.
- BLEHERT, David S., MALUPING, Ramón P., GREEN, D. Earl, BERLOWSKI-ZIER, Brenda M., BALLMANN, Anne E. et LANGENBERG, Julia A., 2014. Acute Pasteurellosis in Wild Big Brown Bats (*Eptesicus fuscus*). In : *Journal of Wildlife Diseases*. janvier 2014. Vol. 50, n° 1, p. 136-139. DOI 10.7589/2012-02-063.
- BRADLEY-SIEMENS, N. et BROWER, A. I., 2016. Veterinary Forensics: Firearms and Investigation of Projectile Injury. In : *Veterinary Pathology*. septembre 2016. Vol. 53, n° 5, p. 988-1000. DOI 10.1177/0300985816653170.
- BRIGHTON, Caroline H., ZUSI, Lillias, MCGOWAN, Kathryn, KINNIRY, Morgan, KLOEPFER, Laura N. et TAYLOR, Graham K., 2020. *Birds versus bats: attack strategies of bat-hunting hawks, and the dilution effect of swarming* [en ligne]. preprint. S.l. Animal Behavior and Cognition. [Consulté le 7 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.02.11.942060>.
- CADAR, Daniel, BECKER, Norbert, CAMPOS, Renata de Mendonca, BÖRSTLER, Jessica, JÖST, Hanna et SCHMIDT-CHANASIT, Jonas, 2014. Usutu Virus in Bats, Germany, 2013. In : *Emerging Infectious Diseases*. octobre 2014. Vol. 20, n° 10, p. 1771-1773. DOI 10.3201/eid2010.140909.
- CALISHER, C. H., CHILDS, J. E., FIELD, H. E., HOLMES, K. V. et SCHOUNTZ, T., 2006. Bats: Important Reservoir Hosts of Emerging Viruses. In : *Clinical Microbiology Reviews*. 1 juillet 2006. Vol. 19, n° 3, p. 531-545. DOI 10.1128/CMR.00017-06.
- CAMPANA, Michael G., KURATA, Naoko P., FOSTER, Jeffrey T., HELGEN, Lauren E., REEDER, DeeAnn M., FLEISCHER, Robert C. et HELGEN, Kristofer M., 2017. White-Nose Syndrome Fungus in a 1918 Bat Specimen from France. In : *Emerging Infectious Diseases*. septembre 2017. Vol. 23, n° 9, p. 1611-1612. DOI 10.3201/eid2309.170875.
- CAROFF, 2003. Dossier : Traitements anti-parasitaires du bétail, insectes coprophages et chauves-souris. In : *L'envol des chiroptères*. 2003.
- CARRAVIERI ET SCHEIFLER, 2012. *Effets des substances chimiques sur les Chiroptères : état des connaissances*. 2012. S.l. : s.n.
- CHILDS-SANFORD, Sara E., KOLLIAS, George V., ABOU-MADI, Noha, MCDONOUGH, Patrick L., GARNER, Michael M. et MOHAMMED, Hussni O., 2009. *Yersinia pseudotuberculosis* in a Closed Colony of Egyptian Fruit Bats (*Rousettus aegyptiacus*). In : *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. mars 2009. Vol. 40, n° 1, p. 8-14. DOI 10.1638/2007-0033.1.

CHRISTE, ARLETTAZ et VOGEL, 2000. Variation in intensity of a parasitic mite (*Spinturnix myoti*) in relation to the reproductive cycle and immunocompetence of its bat host (*Myotis myotis*). In : *Ecology Letters*. mai 2000. Vol. 3, n° 3, p. 207-212. DOI 10.1046/j.1461-0248.2000.00142.x.

CLAIREAU, Fabien, BAS, Yves, PAUWELS, Julie, BARRÉ, Kévin, MACHON, Nathalie, ALLEGRINI, Benjamin, PUECHMAILLE, Sébastien J. et KERBIRIOU, Christian, 2019. Major roads have important negative effects on insectivorous bat activity. In : *Biological Conservation*. juillet 2019. Vol. 235, p. 53-62. DOI 10.1016/j.biocon.2019.04.002.

CRYAN, Paul. M., GORRESEN, P. Marcos, HEIN, Cris D., SCHIRMACHER, Michael R., DIEHL, Robert H., HUSO, Manuela M., HAYMAN, David T. S., FRICKER, Paul D., BONACCORSO, Frank J., JOHNSON, Douglas H., HEIST, Kevin et DALTON, David C., 2014. Behavior of bats at wind turbines. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 21 octobre 2014. Vol. 111, n° 42, p. 15126-15131. DOI 10.1073/pnas.1406672111.

CZENZE, Zenon J. et BRODERS, Hugh G., 2011. Ectoparasite Community Structure of Two Bats (*Myotis lucifugus* and *M. septentrionalis*) from the Maritimes of Canada. In : *Journal of Parasitology Research*. 2011. Vol. 2011, p. 1-9. DOI 10.1155/2011/341535.

DECANDIDO, Robert et ALLEN, Deborah, 2006. NOCTURNAL HUNTING BY PEREGRINE FALCONS AT THE EMPIRE STATE BUILDING, NEW YORK CITY. In : *The Wilson Journal of Ornithology*. mars 2006. Vol. 118, n° 1, p. 53-58. DOI 10.1676/1559-4491(2006)118[0053:NHBPFA]2.0.CO;2.

DECORS ET AL., 2016. *Apport des outils informatiques pour la vigilance vis-à-vis des maladies se développant dans la faune sauvage*. 2016. S.l. : Congrès INFORSID, 34e édition Grenoble.

DURLACHER, S. H., BANFIELD, W. G. et BERGNER, A. D., 1950. Post-mortem pulmonary edema. In : *The Yale Journal of Biology and Medicine*. juillet 1950. Vol. 22, n° 6, p. 565-572.

DÜRR ET BACH, 2004. BAT DEATHS AND WIND TURBINES - A REVIEW OF CURRENT KNOWLEDGE, AND OF THE INFORMATION AVAILABLE IN THE DATABASE FOR GERMANY. In : *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz*. S.l. : s.n. p. 253-264.

ESBÉRARD, Carlos E. L. et VRCIBRADIC, Davor, 2007. Snakes preying on bats: new records from Brazil and a review of recorded cases in the Neotropical Region. In : *Revista Brasileira de Zoologia*. 2007. Vol. 24, n° 3, p. 848-853. DOI 10.1590/S0101-81752007000300036.

ESTÓK, Péter, ZSEBŐK, Sándor et SIEMERS, Björn M., 2010. Great tits search for, capture, kill and eat hibernating bats. In : *Biology Letters*. 23 février 2010. Vol. 6, n° 1, p. 59-62. DOI 10.1098/rsbl.2009.0611.

EVANS, Nicholas J., BOWN, Kevin, TIMOFTE, Dorina, SIMPSON, Vic R. et BIRTLES, Richard J., 2009. Fatal Borreliosis in Bat Caused by Relapsing Fever Spirochete, United Kingdom. In : *Emerging Infectious Diseases*. août 2009. Vol. 15, n° 8, p. 1331-1333. DOI 10.3201/eid1508.090475.

FISCHER, Kerstin, PINHO DOS REIS, Vinícius et BALKEMA-BUSCHMANN, Anne, 2017. Bat Astroviruses: Towards Understanding the Transmission Dynamics of a Neglected Virus Family. In : *Viruses*. 21 février 2017. Vol. 9, n° 2, p. 34. DOI 10.3390/v9020034.

GELUSO, K., ALTENBACH, J. et WILSON, D., 1976. Bat mortality: pesticide poisoning and migratory stress. In : *Science*. 8 octobre 1976. Vol. 194, n° 4261, p. 184-186. DOI 10.1126/science.959845.

GEORGE, D. B., WEBB, C. T., FARNSWORTH, M. L., O'SHEA, T. J., BOWEN, R. A., SMITH, D. L., STANLEY, T. R., ELLISON, L. E. et RUPPRECHT, C. E., 2011. Host and viral ecology determine bat rabies seasonality and maintenance. In : *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 21 juin 2011. Vol. 108, n° 25, p. 10208-10213. DOI 10.1073/pnas.1010875108.

GLOZA-RAUSCH, Florian, IPSEN, Anne, SEEBENS, Antje, GÖTTSCHE, Matthias, PANNING, Marcus, DREXLER, Jan Felix, PETERSEN, Nadine, ANNAN, Augustina, GRYWNA, Klaus, MÜLLER, Marcel, PFEFFERLE, Susanne et DROSTEN, Christian, 2008. Detection and Prevalence Patterns of Group I Coronaviruses in Bats, Northern Germany. In : *Emerging Infectious Diseases*. avril 2008. Vol. 14, n° 4, p. 626-631. DOI 10.3201/eid1404.071439.

GREMILLET ET BOIREAU, 2002. Intoxication mortelle par le plomb et par le fongicide P.C.P. des juvéniles dans un gîte de parturition de Grands rhinolophes *Rhinolophus ferrumequinum* dans le Finistère : difficultés du diagnostic et réalisation d'un gîte alternatif. In : . 2002.

GRODSKY, Steven M., BEHR, Melissa J., GENDLER, Andrew, DRAKE, David, DIETERLE, Byron D., RUDD, Robert J. et WALRATH, Nicole L., 2011. Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. In : *Journal of Mammalogy*. 14 octobre 2011. Vol. 92, n° 5, p. 917-925. DOI 10.1644/10-MAMM-A-404.1.

GROGAN, Laura F., BERGER, Lee, ROSE, Karrie, GRILLO, Victoria, CASHINS, Scott D. et SKERRATT, Lee F., 2014. Surveillance for Emerging Biodiversity Diseases of Wildlife. In : RALL, Glenn F. (éd.), *PLoS Pathogens*. 29 mai 2014. Vol. 10, n° 5, p. e1004015. DOI 10.1371/journal.ppat.1004015.

GRZEGORZ LESIŃSKI¹, 2008. Does the diet of an opportunistic raptor, the tawny owl *Strix aluco*, reflect long-term changes in bat abundance? A test in central Poland. In : . 2008.

GRZEGORZ LESIŃSKI^{1,*}, KRZYSZTOF KASPRZYK² AND JAKUB GRYZ³, 2012. Bats taken by the tawny owl in relation to its roosting site. In : . 2012.

HORN, Jason W., ARNETT, Edward B. et KUNZ, Thomas H., 2008. Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. In : *Journal of Wildlife Management*. janvier 2008. Vol. 72, n° 1, p. 123-132. DOI 10.2193/2006-465.

HORNOK, Sándor, ESTÓK, Péter, KOVÁTS, Dávid, FLAISZ, Barbara, TAKÁCS, Nóra, SZŐKE, Krisztina, KRAWCZYK, Aleksandra, KONTSCHÁN, Jenő, GYURANECZ, Miklós, FEDÁK, András, FARKAS, Róbert, HAARSMA, Anne-Jifke et SPRONG, Hein, 2015. Screening of bat faeces for arthropod-borne apicomplexan protozoa: *Babesia canis* and *Besnoitia besnoiti*-like sequences from Chiroptera. In : *Parasites & Vectors*. décembre 2015. Vol. 8, n° 1, p. 441. DOI 10.1186/s13071-015-1052-6.

HORTON, Daniel L., BREED, Andrew C., ARNOLD, Mark E., SMITH, Graham C., AEGERTER, James N., MCELHINNEY, Lorraine M., JOHNSON, Nick, BANYARD, Ashley C., RAYNOR, Robert, MACKIE, Iain, DENWOOD, Matthew J., MELLOR, Dominic J., SWIFT, Sue, RACEY, Paul A. et FOOKS, Anthony R., 2020. Between roost contact is essential for maintenance of European bat lyssavirus type-2 in *Myotis daubentonii* bat reservoir: 'The Swarming Hypothesis'. In : *Scientific Reports*. décembre 2020. Vol. 10, n° 1, p. 1740. DOI 10.1038/s41598-020-58521-6.

I. AZAMI-CONESA, R.A. MARTÍNEZ-DÍAZ, F. GONZÁLEZ, ET AL, 2019. First detection of *Leishmania infantum* in common urban bats *Pipistrellus pipistrellus* in Europe. In : *Research in Veterinary Science*. 2019.

IRWIN, Nancy R. et SPEAKMAN, John R., 2003. Azorean Bats *Nyctalus azoreum*, Cluster as they Emerge from Roosts, Despite the Lack of Avian Predators. In : *Acta Chiropterologica*. 1 décembre 2003. Vol. 5, n° 2, p. 185. DOI 10.3161/001.005.0203.

JAMESON, Joel W. et WILLIS, Craig K.R., 2014. Activity of tree bats at anthropogenic tall structures: implications for mortality of bats at wind turbines. In : *Animal Behaviour*. novembre 2014. Vol. 97, p. 145-152. DOI 10.1016/j.anbehav.2014.09.003.

JIZHOU LV AND AL., 2018. Detection of tick-borne bacteria and babesia with zoonotic potential in *Argas (Carios) vespertilionis* (Latreille, 1802) ticks from British bats. In : *Scientific Reports*. 2018.

JOHNSON ET AL., 2003. Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. In : . S.l. : s.n.

KASPRZYK, Krzysztof, 2004. Bats in the diet of owls from the southern part of the Lublin region (SE Poland). In : . S.l. : s.n.

KEMENESI, Gábor, KURUCZ, Kornélia, DALLOS, Bianka, ZANA, Brigitta, FÖLDES, Fanni, BOLDOGH, Sándor, GÖRFÖL, Tamás, CARROLL, Miles W et JAKAB, Ferenc, 2018. Re-emergence of Lloviu virus in *Miniopterus schreibersii* bats, Hungary, 2016. In : *Emerging Microbes & Infections*. décembre 2018. Vol. 7, n° 1, p. 1-4. DOI 10.1038/s41426-018-0067-4.

KERTH, Gerald et MELBER, Markus, 2009. Species-specific barrier effects of a motorway on the habitat use of two threatened forest-living bat species. In : *Biological Conservation*. février 2009. Vol. 142, n° 2, p. 270-279. DOI 10.1016/j.biocon.2008.10.022.

KJ PETRŽELKOVÁ, J OBUCH, J ZUKAL, 2004. Does the barn owl (*Tyto alba*) selectively predate individual great mouse-eared bats (*Myotis myotis*). In : . 2004.

KUNZ, Thomas H., ARNETT, Edward B., COOPER, Brian M., ERICKSON, Wallace P., LARKIN, Ronald P., MABEE, Todd, MORRISON, Michael L., STRICKLAND, M. Dale et SZEWCZAK, Joseph M., 2007. Assessing Impacts of Wind-Energy Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document. In : *Journal of Wildlife Management*. novembre 2007. Vol. 71, n° 8, p. 2449-2486. DOI 10.2193/2007-270.

LESIŃSKI, G., GRYZ, J. et KOWALSKI, M., 2009. Bat predation by tawny owls *Strix aluco* in differently human-transformed habitats. In : *Italian Journal of Zoology*. décembre 2009. Vol. 76, n° 4, p. 415-421. DOI 10.1080/11250000802589535.

LESIŃSKI, Grzegorz, 2007. Bat road casualties and factors determining their number. In : *mammalia* [en ligne]. 1 janvier 2007. Vol. 71, n° 3. [Consulté le 30 juin 2020]. DOI 10.1515/MAMM.2007.020. Disponible à l'adresse : <https://www.degruyter.com/view/j/mamm.2007.71.issue-3/mamm.2007.020/mamm.2007.020.xml>.

LESIŃSKI, Grzegorz, SIKORA, Anna et OLSZEWSKI, Adam, 2011. Bat casualties on a road crossing a mosaic landscape. In : *European Journal of Wildlife Research*. avril 2011. Vol. 57, n° 2, p. 217-223. DOI 10.1007/s10344-010-0414-9.

LUCAN, Radek K., 2006. Relationships between the parasitic mite *Spinturnix andegavinus* (Acari: Spinturnicidae) and its bat host, *Myotis daubentonii* (Chiroptera: Vespertilionidae): seasonal, sex- and age-related variation in infestation and possible impact of the parasite on the host condition and roosting behaviour. In : *Folia Parasitologica*. 1 juin 2006. Vol. 53, n° 2, p. 147-152. DOI 10.14411/fp.2006.019.

LUIS, Angela D., HAYMAN, David T. S., O'SHEA, Thomas J., CRYAN, Paul M., GILBERT, Amy T., PULLIAM, Juliet R. C., MILLS, James N., TIMONIN, Mary E., WILLIS, Craig K. R., CUNNINGHAM, Andrew A., FOOKS, Anthony R., RUPPRECHT, Charles E., WOOD, James L. N. et WEBB, Colleen T., 2013. A comparison of bats and rodents as reservoirs of zoonotic viruses: are bats special? In : *Proceedings Biological Sciences*. 7 avril 2013. Vol. 280, n° 1756, p. 20122753. DOI 10.1098/rspb.2012.2753.

MACGREGOR, Kathleen A. et LEMAÎTRE, Jérôme, 2020. The management utility of large-scale environmental drivers of bat mortality at wind energy facilities: The effects of facility size, elevation and geographic location. In : *Global Ecology and Conservation*. mars 2020. Vol. 21, p. e00871. DOI 10.1016/j.gecco.2019.e00871.

MAINA, J. N. et KING, A. S., 1984. Correlations between structure and function in the design of the bat lung: a morphometric study. In : *The Journal of Experimental Biology*. juillet 1984. Vol. 111, p. 43-61.

MAREK KOWALSKI & GRZEGORZ LESIŃSKI, 1990. The food of the tawny owl (*Strix aluco* L.) from near a bat cave in Poland. In : . 1990.

MARIA MAS, 2015. Predation on bats by genets *Genetta genetta* (Linnaeus, 1758): a review. In : *Barbastella* [en ligne]. 1 mars 2015. Vol. 8, n° 1. [Consulté le 5 avril 2020]. DOI 10.14709/BarbJ.8.1.2015.03. Disponible à l'adresse : http://secemu.org/wp-content/uploads/2016/12/Mas_et_al_2015.pdf.

MIKULA, Peter, 2015. Fish and amphibians as bat predators. In : *European Journal of Ecology*. 22 décembre 2015. Vol. 1, n° 1, p. 71-80. DOI 10.1515/eje-2015-0010.

MIKULA, Peter, MORELLI, Federico, LUČAN, Radek K., JONES, Darryl N. et TRYJANOWSKI, Piotr, 2016. Bats as prey of diurnal birds: a global perspective: Predation of bats by diurnal birds. In : *Mammal Review*. juillet 2016. Vol. 46, n° 3, p. 160-174. DOI 10.1111/mam.12060.

MINEAU ET CALLAGHAN, 2018. *Neonicotinoid insecticides and bats : An assessment of the direct and indirect risks*. 2018. S.l. : s.n.

MÜHLDORFER, Kristin, SCHWARZ, Stefan, FICKEL, Jörns, WIBBELT, Gudrun et SPECK, Stephanie, 2011. Genetic diversity of *Pasteurella* species isolated from European vespertilionid bats. In : *Veterinary Microbiology*. avril 2011. Vol. 149, n° 1-2, p. 163-171. DOI 10.1016/j.vetmic.2010.10.002.

MÜHLDORFER, Kristin, SPECK, Stephanie, KURTH, Andreas, LESNIK, René, FREULING, Conrad, MÜLLER, Thomas, KRAMER-SCHADT, Stephanie et WIBBELT, Gudrun, 2011. Diseases and Causes of Death in European Bats: Dynamics in Disease Susceptibility and Infection Rates. In : FOOKS, Anthony R. (éd.), *PLoS ONE*. 28 décembre 2011. Vol. 6, n° 12, p. e29773. DOI 10.1371/journal.pone.0029773.

MÜHLDORFER, Kristin, SPECK, Stephanie et WIBBELT, Gudrun, 2011. Diseases in free-ranging bats from Germany. In : *BMC Veterinary Research*. 2011. Vol. 7, n° 1, p. 61. DOI 10.1186/1746-6148-7-61.

MÜHLDORFER, Kristin, WIBBELT, Gudrun, HAENSEL, Joachim, RIEHM, Julia et SPECK, Stephanie, 2010. *Yersinia* Species Isolated from Bats, Germany. In : *Emerging Infectious Diseases*. mars 2010. Vol. 16, n° 3, p. 578-580. DOI 10.3201/eid1603.091035.

NEGREDO, Ana, PALACIOS, Gustavo, VÁZQUEZ-MORÓN, Sonia, GONZÁLEZ, Félix, DOPAZO, Hernán, MOLERO, Francisca, JUSTE, Javier, QUETGLAS, Juan, SAVJI, Nazir, DE LA CRUZ MARTÍNEZ, Maria, HERRERA, Jesus Enrique, PIZARRO, Manuel, HUTCHISON, Stephen K., ECHEVARRÍA, Juan E., LIPKIN, W. Ian et TENORIO, Antonio, 2011. Discovery of an Ebolavirus-Like Filovirus in Europe. In : BASLER, Christopher F. (éd.), *PLoS Pathogens*. 20 octobre 2011. Vol. 7, n° 10, p. e1002304. DOI 10.1371/journal.ppat.1002304.

NORONHA, Janaina da Costa de, BATTIROLA, Leandro Dênis, CHAGAS JÚNIOR, Amazonas, MIRANDA, Robson Moreira de, CARPANEDO, Rainiellen de Sá et RODRIGUES, Domingos de Jesus, 2015. Predation of bat (*Molossus molossus*: Molossidae) by the centipede *Scolopendra viridicornis* (Scolopendridae) in Southern Amazonia. In : *Acta Amazonica*. septembre 2015. Vol. 45, n° 3, p. 333-336. DOI 10.1590/1809-4392201404083.

NYFFELER, Martin et KNÖRNSCHILD, Mirjam, 2013. Bat Predation by Spiders. In : BILDE, Trine (éd.), *PLoS ONE*. 13 mars 2013. Vol. 8, n° 3, p. e58120. DOI 10.1371/journal.pone.0058120.

OLIVAL, Kevin et HAYMAN, David, 2014. Filoviruses in Bats: Current Knowledge and Future Directions. In : *Viruses*. 17 avril 2014. Vol. 6, n° 4, p. 1759-1788. DOI 10.3390/v6041759.

O'SHEA, Thomas J., CRYAN, Paul M., CUNNINGHAM, Andrew A., FOOKS, Anthony R., HAYMAN, David T.S., LUIS, Angela D., PEEL, Alison J., PLOWRIGHT, Raina K. et WOOD, James L.N., 2014. Bat Flight and Zoonotic Viruses. In : *Emerging Infectious Diseases*. mai 2014. Vol. 20, n° 5, p. 741-745. DOI 10.3201/eid2005.130539.

P. O'B. LYVER, 2000. Identifying mammalian predators from bite marks: a tool for focusing wildlife protection. In : *Mammal Review*. 2000.

PAUL M. CRYAN, 2009. CAUSES OF BAT FATALITIES AT WIND TURBINES: HYPOTHESES AND PREDICTIONS. In : . 2009.

PAVISSE, 2012. *Dossier : Chauves-souris et traitement du bois*. 2012. S.l. : s.n. L'Envol des Chiros - n°12

PEIG, Jordi et GREEN, Andy J., 2009. New perspectives for estimating body condition from mass/length data: the scaled mass index as an alternative method. In : *Oikos*. décembre 2009. Vol. 118, n° 12, p. 1883-1891. DOI 10.1111/j.1600-0706.2009.17643.x.

PEREZ-BARBERIA, 1991. INFLUENCIA DE LA VARIACION LATITUDINAL EN LA CONTRIBUCION DE LOS MURCIELAGOS (CHIROPTERA) A LA DIETA DE LA LECHUZA COMUN (TYTO ALBA). In : . 1991.

PHELPS, Kendra L. et KINGSTON, Tigga, 2018. Environmental and biological context modulates the physiological stress response of bats to human disturbance. In : *Oecologia*. septembre 2018. Vol. 188, n° 1, p. 41-52. DOI 10.1007/s00442-018-4179-2.

PLOWRIGHT, Raina K, FIELD, Hume E, SMITH, Craig, DIVLIJAN, Anja, PALMER, Carol, TABOR, Gary, DASZAK, Peter et FOLEY, Janet E, 2008. Reproduction and nutritional stress are risk factors for Hendra virus infection in little red flying foxes (*Pteropus scapulatus*). In : *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 7 avril 2008. Vol. 275, n° 1636, p. 861-869. DOI 10.1098/rspb.2007.1260.

POEL, Wim H.M. van der, LINA, Peter H.C. et KRAMP, Johannes A., 2006. Public Health Awareness of Emerging Zoonotic Viruses of Bats: A European Perspective. In : *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. décembre 2006. Vol. 6, n° 4, p. 315-324. DOI 10.1089/vbz.2006.6.315.

POSTAWA, Tomasz, SZUBERT-KRUSZYNSKA, Agnieszka et FERENC, Hanna, 2014. Differences between populations of Spinturnix myoti (Acari: Mesostigmata) in breeding and non-breeding colonies of Myotis myotis (Chiroptera) in central Europe: the effect of roost type. In : *Folia Parasitologica*. 4 décembre 2014. Vol. 61, n° 6, p. 581-588. DOI 10.14411/fp.2014.060.

PREECE, Noel D., ABELL, Sandra E., GROGAN, Laura, WAYNE, Adrian, SKERRATT, Lee F., VAN OOSTERZEE, Penny, SHIMA, Amy L., DASZAK, Peter, FIELD, Hume, REISS, Andrea, BERGER, Lee, RYMER, Tasmin L., FISHER, Diana O., LAWES, Michael J., LAURANCE, Susan G., MCCALLUM, Hamish, ESSON, Carol et EPSTEIN, Jonathan H., 2017. A guide for ecologists: Detecting the role of disease in faunal declines and managing population recovery. In : *Biological Conservation*. octobre 2017. Vol. 214, p. 136-146. DOI 10.1016/j.biocon.2017.08.014.

PUECHMAILLE, Sébastien J., VERDEYROUX, Pascal, FULLER, Hubert, GOUILH, Meriadeg Ar, BEKAERT, Michaël et TEELING, Emma C., 2010. White-Nose Syndrome Fungus (*Geomyces destructans*) in Bat, France. In : *Emerging Infectious Diseases*. février 2010. Vol. 16, n° 2, p. 290-293. DOI 10.3201/eid1602.091391.

RICARDO, ROCHA, 2015. Look what the cat dragged in: Felis silvestris catus as predators of insular bats and instance of predation on the endangered Pipistrellus maderensis. In : *Barbastella* [en ligne]. 1 mars 2015. Vol. 8, n° 1. [Consulté le 5 avril 2020]. DOI 10.14709/BarbJ.8.1.2015.04. Disponible à l'adresse : http://secemu.org/wp-content/uploads/2016/12/Rocha_2015.pdf.

ROBERT S. SOMMER, 2009. Bat predation by the barn owl Tyto alba in a hibernation site of bats. In : . 2009.

- RODRÍGUEZ-DURÁN, Armando, PÉREZ, Jansel, MONTALBÁN, Mari Ana et SANDOVAL, Jean M., 2010. Predation by Free-Roaming Cats on an Insular Population of Bats. In : *Acta Chiropterologica*. décembre 2010. Vol. 12, n° 2, p. 359-362. DOI 10.3161/150811010X537945.
- ROLLINS, K. E., MEYERHOLZ, D. K., JOHNSON, G. D., CAPPARELLA, A. P. et LOEW, S. S., 2012. A Forensic Investigation Into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury? In : *Veterinary Pathology*. mars 2012. Vol. 49, n° 2, p. 362-371. DOI 10.1177/0300985812436745.
- ROUE S.Y. AND NEMOZ M, 2002. *Mortalité exceptionnelle du Minioptère de Schreibers en France lors de l'année 2002. Bilan national. SFEPM, Paris, 28p.* 2002. S.l. : s.n.
- RUDER, T D, GERMEROTT, T, THALI, M J et HATCH, G M, 2011. Differentiation of ante-mortem and post-mortem fractures with MRI: a case report. In : *The British Journal of Radiology*. avril 2011. Vol. 84, n° 1000, p. e75-e78. DOI 10.1259/bjr/10214495.
- RUSSELL, AI, BUTCHKOSKI, Cm, SAIDAK, L et MCCRACKEN, Gf, 2009. Road-killed bats, highway design, and the commuting ecology of bats. In : *Endangered Species Research*. 9 juillet 2009. Vol. 8, p. 49-60. DOI 10.3354/esr00121.
- SANTOS, Sara M., CARVALHO, Filipe et MIRA, António, 2011. How Long Do the Dead Survive on the Road? Carcass Persistence Probability and Implications for Road-Kill Monitoring Surveys. In : FENTON, Brock (éd.), *PLoS ONE*. 27 septembre 2011. Vol. 6, n° 9, p. e25383. DOI 10.1371/journal.pone.0025383.
- SCRIMGEOUR, J, BEATH, A et SWANNEY, M, 2012. Cat predation of short-tailed bats (*Mystacina tuberculata rhyocobia*) in Rangataua Forest, Mount Ruapehu, Central North Island, New Zealand. In : *New Zealand Journal of Zoology*. septembre 2012. Vol. 39, n° 3, p. 257-260. DOI 10.1080/03014223.2011.649770.
- SETRA, 2009. *Chiroptères et infrastructures de transports terrestres. Menaces et actions de préservation - Notre d'information*. 2009. S.l. : s.n.
- SIERADZKI, Alan et MIKKOLA, Heimo, 2020. A Review of European Owls as Predators of Bats. In : MIKKOLA, Heimo (éd.), *Owls* [en ligne]. S.l. : IntechOpen. [Consulté le 7 mai 2020]. ISBN 978-1-78984-053-7. Disponible à l'adresse : <https://www.intechopen.com/books/owls/a-review-of-european-owls-as-predators-of-bats>.
- SIMPSON, V.R., 2000. Veterinary advances in the investigation of wildlife diseases in Britain. In : *Research in Veterinary Science*. août 2000. Vol. 69, n° 1, p. 11-16. DOI 10.1053/rvsc.2000.0384.
- SOCOLOVSKI, Cristina, KERNIF, Tahar, RAOULT, Didier et PAROLA, Philippe, 2012. *Borrelia*, *Rickettsia*, and *Ehrlichia* Species in Bat Ticks, France, 2010. In : *Emerging Infectious Diseases*. décembre 2012. Vol. 18, n° 12, p. 1966-1975. DOI 10.3201/eid1812.111237.
- SONNTAG, Michael, MÜHLDORFER, Kristin, SPECK, Stephanie, WIBBELT, Gudrun et KURTH, Andreas, 2009. New Adenovirus in Bats, Germany. In : *Emerging Infectious Diseases*. décembre 2009. Vol. 15, n° 12, p. 2052-2055. DOI 10.3201/eid1512.090646.
- SPEAKMAN, J. R., 1991. The impact of predation by birds on bat populations in the British Isles. In : *Mammal Review*. septembre 1991. Vol. 21, n° 3, p. 123-142. DOI 10.1111/j.1365-2907.1991.tb00114.x.
- SPITZEMBERGER, 2014. Real time observations of *Strix aluco* preying upon a maternity colony of *Myotis emarginatus*. In : . 2014.
- T. J. O'SHEA ET AL., 2016. Multiple mortality events in bats: a global review. In : *Mammal Review*. 2016.

- TALAN, David A., CITRON, Diane M., ABRAHAMIAN, Fredrick M., MORAN, Gregory J. et GOLDSTEIN, Ellie J.C., 1999. Bacteriologic Analysis of Infected Dog and Cat Bites. In : *New England Journal of Medicine*. 14 janvier 1999. Vol. 340, n° 2, p. 85-92. DOI 10.1056/NEJM199901143400202.
- TANALGO, Krizler Cejuela., WALDIEN, Dave L., MONFORT, Norma et HUGHES, Alice Catherine, 2019. *Attacked from above and below, new observations of cooperative and solitary predators on roosting cave bats* [en ligne]. preprint. S.I. Animal Behavior and Cognition. [Consulté le 7 mai 2020]. Disponible à l'adresse : <http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/550582>.
- THOGMARTIN, Wayne E., SANDERS-REED, Carol A., SZYMANSKI, Jennifer A., MCKANN, Patrick C., PRUITT, Lori, KING, R. Andrew, RUNGE, Michael C. et RUSSELL, Robin E., 2013. White-nose syndrome is likely to extirpate the endangered Indiana bat over large parts of its range. In : *Biological Conservation*. avril 2013. Vol. 160, p. 162-172. DOI 10.1016/j.biocon.2013.01.010.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS et COSTA-PINTO, Anna Ludmilla da, 2020. FIRST RECORD OF NATURAL PREDATION ON BATS BY DOMESTIC CAT IN BRAZIL, WITH DISTRIBUTION EXTENSION FOR PHYLLOSTOMUS DISCOLOR. In : *Oecologia Australis*. 16 mars 2020. Vol. 24, n° 01, p. 242-248. DOI 10.4257/oeco.2020.2401.24.
- VALDEZ AND CRYAN, 2013. INSECT PREY EATEN BY HOARY BATS (LASIURUS CINEREUS) PRIOR TO FATAL COLLISIONS WITH WIND TURBINES. In : *Western North American Naturalist*. 2013. Vol. 73, p. 516-524.
- VELTRI, Carl J. et KLEM, Daniel, 2005. Comparison of fatal bird injuries from collisions with towers and windows. In : *Journal of Field Ornithology*. avril 2005. Vol. 76, n° 2, p. 127-133. DOI 10.1648/0273-8570-76.2.127.
- VOIGT, Christian C., LEHNERT, Linn S., PETERSONS, Gunars, ADORF, Frank et BACH, Lothar, 2015. Wildlife and renewable energy: German politics cross migratory bats. In : *European Journal of Wildlife Research*. avril 2015. Vol. 61, n° 2, p. 213-219. DOI 10.1007/s10344-015-0903-y.
- WIBBELT, Gudrun, KURTH, Andreas, HELLMANN, David, WEISHAAR, Manfred, BARLOW, Alex, VEITH, Michael, PRÜGER, Julia, GÖRFÖL, Tamás, GROSCHE, Lena, BONTADINA, Fabio, ZÖPHEL, Ulrich, SEIDL, Hans-Peter, CRYAN, Paul M. et BLEHERT, David S., 2010. White-Nose Syndrome Fungus (*Geomyces destructans*) in Bats, Europe. In : *Emerging Infectious Diseases*. août 2010. Vol. 16, n° 8, p. 1237-1243. DOI 10.3201/eid1608.100002.
- WIBBELT, Gudrun, KURTH, Andreas, YASMUM, Nezlisah, BANNERT, Michael, NAGEL, Sabine, NITSCHKE, Andreas et EHLERS, Bernhard, 2007. Discovery of herpesviruses in bats. In : *Journal of General Virology*. 1 octobre 2007. Vol. 88, n° 10, p. 2651-2655. DOI 10.1099/vir.0.83045-0.
- WIBBELT, Gudrun, MOORE, Marianne S., SCHOUNTZ, Tony et VOIGT, Christian C., 2010. Emerging diseases in Chiroptera: why bats? In : *Biology Letters*. 23 août 2010. Vol. 6, n° 4, p. 438-440. DOI 10.1098/rsbl.2010.0267.
- WOBESER, 1992. CARCASS DISAPPEARANCE AND ESTIMATION OF MORTALITY IN A SIMULATED DIE-OFF OF SMALL BIRDS. In : *Journal of Wildlife Diseases*. octobre 1992. Vol. 28, n° 4, p. 548-554. DOI 10.7589/0090-3558-28.4.548.
- WONG, Samson, LAU, Susanna, WOO, Patrick et YUEN, Kwok-Yung, 2007. Bats as a continuing source of emerging infections in humans. In : *Reviews in Medical Virology*. mars 2007. Vol. 17, n° 2, p. 67-91. DOI 10.1002/rmv.520.
- WOODS, Michael, MCDONALD, Robbie A. et HARRIS, Stephen, 2003. Predation of wildlife by domestic cats *Felis catus* in Great Britain: Predation of wildlife by domestic cats. In : *Mammal Review*. juin 2003. Vol. 33, n° 2, p. 174-188. DOI 10.1046/j.1365-2907.2003.00017.x.

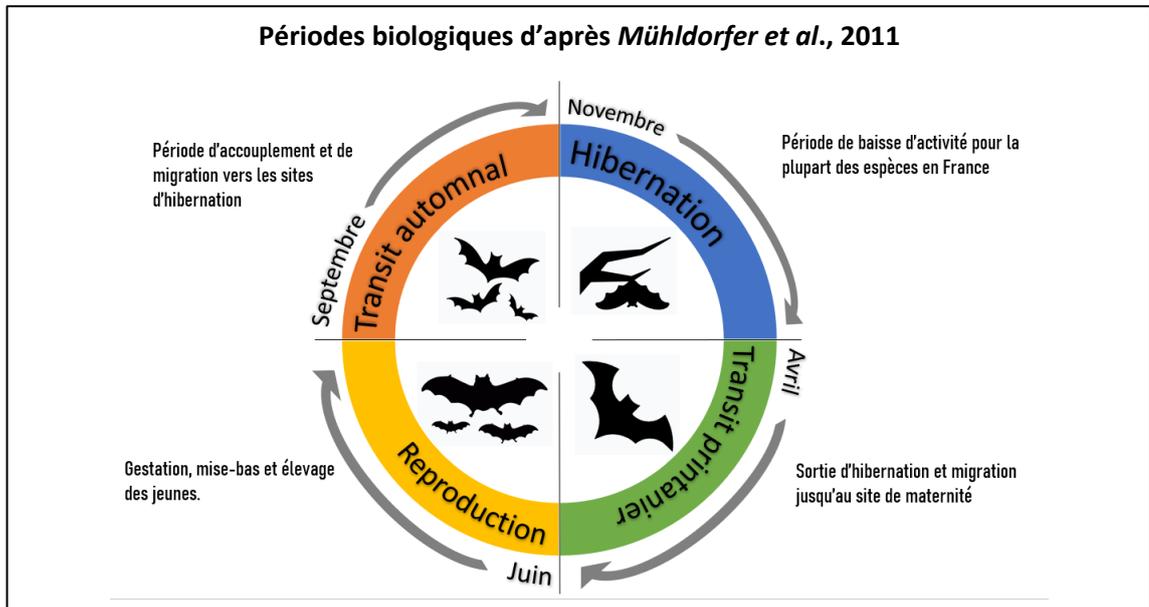
ZAHN, Andreas et RUPP, Doris, 2004. Ectoparasite load in European vespertilionid bats. In : *Journal of Zoology*. avril 2004. Vol. 262, n° 4, p. 383-391. DOI 10.1017/S0952836903004722.

ZHANG, G., COWLED, C., SHI, Z., HUANG, Z., BISHOP-LILLY, K. A., FANG, X., WYNNE, J. W., XIONG, Z., BAKER, M. L., ZHAO, W., TACHEDJIAN, M., ZHU, Y., ZHOU, P., JIANG, X., NG, J., YANG, L., WU, L., XIAO, J., FENG, Y., CHEN, Y., SUN, X., ZHANG, Y., MARSH, G. A., CRAMERI, G., BRODER, C. C., FREY, K. G., WANG, L.-F. et WANG, J., 2013. Comparative Analysis of Bat Genomes Provides Insight into the Evolution of Flight and Immunity. In : *Science*. 25 janvier 2013. Vol. 339, n° 6118, p. 456-460. DOI 10.1126/science.1230835.

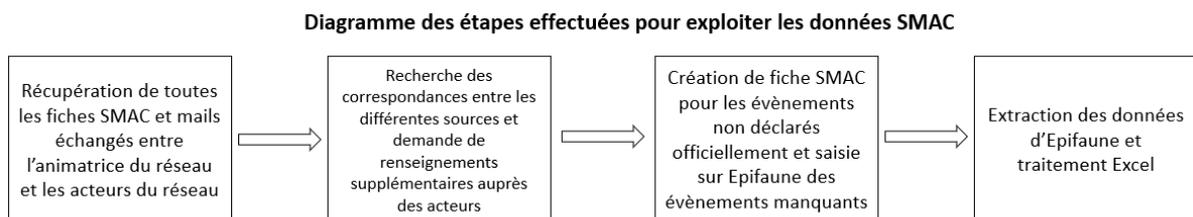
ZUKAL, Jan, BANDOUCHOVA, Hana, BARTONICKA, Tomas, BERKOVA, Hana, BRACK, Virgil, BRICHTA, Jiri, DOLINAY, Matej, JARON, Kamil S., KOVACOVA, Veronika, KOVARIK, Miroslav, MARTÍNKOVÁ, Natália, ONDRACEK, Karel, REHAK, Zdenek, TURNER, Gregory G. et PIKULA, Jiri, 2014. White-Nose Syndrome Fungus: A Generalist Pathogen of Hibernating Bats. In : BOYLES, Justin G. (éd.), *PLoS ONE*. 12 mai 2014. Vol. 9, n° 5, p. e97224. DOI 10.1371/journal.pone.0097224.

Annexes

Annexe 1 – Périodes biologiques des chiroptères en Europe selon Mühldorfer et al. (2011)



Annexe 2 – Diagramme du travail effectué pour aboutir à l'exploitation des données SMAC



+ S'agit-il d'un lieu suivi. Si oui fréquence de visite et date de la dernière visite

Précisez combien d'individus pour chacune de ces questions

Réunir ces 3 questions en une seule : Précisez l'âge (Nouveau-né ; Juvenile ; Adulte ; Indéterminé) le sexe (Femelle, Mâle, Indéterminé) et l'état physiologique (Bon ; Mauvais ; Indéterminé) pour chaque individu

4 - COMMÉMORATIFS

A - ENVIRONNEMENT DU CADAVRE NON

Ye-t-il des infrastructures à moins de 150 m ?

Ligne électrique, câble (préciser) :

Route, chemins (préciser au verso) :

Autres (préciser, ex. barrière, clôture) :

Ye-t-il eu des traitements pesticides / blocés récemment ?

Ne sais pas

Non

Oui, il y a combien de temps et lesquels ?

B - EXAMEN EXTERNE DU CADAVRE

Avez-vous remarqué une position particulière de l'animal ?

RAS Particulière (préciser) :

La rigidité cadavérique s'est-elle installée ?

Oui Non Indéterminé

Avez-vous remarqué la présence d'indices biologiques ?

Non Oui, précisez :

Du sang (préciser la localisation) :

De l'urine, (préciser sa couleur) :

Des écoulements, (préciser la nature et la localisation) :

De la diarrhée :

Autres (préciser) :

Ye-t-il des traces de morsures ? Non

Par les chiens à la découverte Avant la découverte

Ye-t-il des traces de désordre autour de l'animal indiquant

Qu'il y a eu lutte Qu'il y a eu piétinage

Avez-vous trouvé des insectes morts autour du cadavre ? Oui

C - SYMPTÔMES SI L'ANIMAL EST TROUVÉ VIVANT

Troubles locomoteurs Boiterie Autre (préciser) :

Troubles visuels Aveugle Autre (préciser) :

Troubles digestifs Salivation Autre (préciser) :

Troubles pulmonaires

Toux Écoulement nasal Essoufflement

Autre (préciser) :

Troubles nerveux

L'animal a conservé sa vigilance Oui Non

L'animal tourne sur lui-même

L'animal se dérange furieusement

L'animal ne s'enfuit pas

L'animal est paralysé

COMMENTAIRES : (Types de gîte, espèces présentes, effectifs : jeunes / adultes)

Cause de la mort suspectée

à cause des symptômes

ou parce que la maladie circule dans la région

+ Précisez le lieu de découverte : Cavité naturelle / Cavité artificielle / Grenier / Garage / Tronc / Eglise / Plaine / Bord de route

+ Les individus sont-ils au sol ? Si oui précisez le nombre et l'âge

+ Il y a-t-il des traces de dérangement ?

Des selles d'autre animaux ? Des pelotes de réjection ? Des poils ? Des traces de fréquentation humaines ?

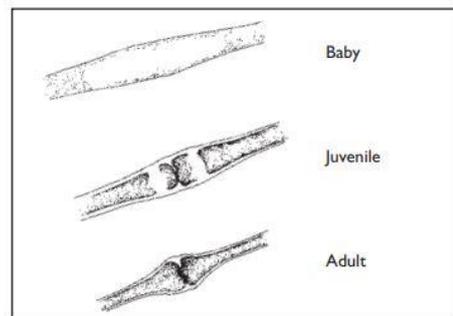
Effectifs habituels, effectifs lors de la découverte

Fiche Technique : Détermination de l'âge et du sexe

Quel âge ?

- Juvénile : Individus dont l'ossification des cartilages de conjugaison n'est pas complète
- Nouveau-né : Individu sans fourrure et/ou présence d'un cordon ombilical et dont l'ossification des cartilages de conjugaison n'a pas débutée.
- Adulte : Individu dont l'ossification des cartilages de conjugaison est complète

→ Méthode : transillumination de l'articulation de l'aile



Quel sexe ?

Chez la plupart des Vespertilionidae le dimorphisme sexuel est important.

→ Chez les mâles un sexe externe est visible.

→ Chez la femelle on distingue un orifice génital.

Quel stade de reproduction ?

→ Les mâles matures ont des testicules visibles de part et d'autre de leur sexe.

→ Chez les femelles celle ayant mis bas récemment ont un orifice rouge et œdématié ainsi que des mamelles visibles. Chez celle en lactation une pression douce sur les mamelles permet d'extraire du lait.

Ces observations sont valables pour des individus vivants. Selon l'état de dégradation des individus ces observations peuvent être difficilement réalisables sur des cadavres.

Annexe 5 – Caractéristiques générales des modes de conservations

Mode de conservation	Analyses compatibles	Analyses non compatibles	Avantages	Désavantages
Réfrigération	Autopsie	Temps de transport ou de stockage	Pas d'artéfact	Peu de temps, mauvaise conservation
Congélation	Virologie, Toxicologie	Histologie	Conservation longue	Altération des cellules de tissus
Formol	Histologie	Etudes moléculaires	Conservation longue	Ne permet pas toutes les analyses

Schutz Fanny

Etude épidémio-clinique des évènements de mortalité de chiroptères enregistrés par le réseau SMAC

Résumé :

Le déclin de la biodiversité est au cœur des préoccupations sociétales actuelles. La surveillance de la mortalité d'espèces sauvages priorise majoritairement la détection de maladies affectant l'homme et les animaux domestiques au détriment de celles impactant leur population. Face au déclin des populations de chiroptères la création en 2014 du réseau SMAC constitue un système de détection précoce et pluridisciplinaire des maladies à enjeu pour les chiroptères. Le travail réalisé pour cette thèse permet, après 5 ans de fonctionnement du réseau, de proposer un premier bilan épidémio-clinique de la mortalité des chiroptères en France ainsi qu'un bilan sur le fonctionnement du réseau et la proposition d'améliorations. Un travail bibliographique fait également état des connaissances actuelles sur les causes de mortalités des chiroptères.

Mots clés : Chiroptères, mortalité, épidémiologie, surveillance sanitaire

Epidemiological-clinical study of bats mortality events recorded by the SMAC network

Abstract :

The decline of biodiversity is at the center of current societal concerns. The surveillance of wildlife mortality mainly prioritizes the detection of diseases affecting humans and domestic animals and neglects those affecting their populations. Faced with the decline of bat populations, the creation in 2014 of the SMAC network constitutes an early and multidisciplinary system for the detection of diseases at stake for bats. The work carried out for this thesis allows, after 5 years of functioning, to propose a first epidemiological-clinical assessment of the mortality of bats in France, an assessment of the performances of the network and to suggest improvements. A bibliographic work reports current knowledge on the causes of death in bats.

Key words: Bats, mortality, epidemiology, health surveillance