



**HAL**  
open science

# Étude rétrospective des lésions associées aux traumatismes physiques chez les oiseaux et les chiroptères sauvages en France

Louis Rouaud

► **To cite this version:**

Louis Rouaud. Étude rétrospective des lésions associées aux traumatismes physiques chez les oiseaux et les chiroptères sauvages en France. Médecine vétérinaire et santé animale. 2022. dumas-04010276

**HAL Id: dumas-04010276**

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04010276v1>

Submitted on 1 Mar 2023

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

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

# ÉTUDE RETROSPECTIVE DES LESIONS ASSOCIEES AUX TRAUMATISMES PHYSIQUES CHEZ LES OISEAUX ET LES CHIROPTERES SAUVAGES EN FRANCE

---

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

*par*

**ROUAUD Louis, Benjamin, Maxime**

**Directeur de thèse : M. Guillaume LE LOC'H**

---

## JURY

PRESIDENT :

**M. Stéphane BERTAGNOLI**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :

**M. Guillaume LE LOC'H**

**M. Nicolas GAIDE**

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :

**Mme Anouk DECORS**

Chargée de recherche à l'Office Français de la Biodiversité



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

**Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire**

**Directeur : Professeur Pierre SANS**

**PROFESSEURS CLASSE  
EXCEPTIONNELLE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

**PROFESSEURS 1<sup>ère</sup>  
CLASSE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*

**PROFESSEURS 2<sup>ème</sup>  
CLASSE**

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et économie de la santé animale*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

## **M. MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE**

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*  
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*  
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 **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*  
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

## **MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE**

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*  
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*  
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*  
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*  
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*  
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*  
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*  
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*  
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*  
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*  
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*  
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*  
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*  
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*  
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*  
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales règlementées*  
Mme **WARET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*  
Mme **PALIERNE Sophie**, *Pathologie chirurgicale*  
M. **GAIDE Nicolas**, *Anatomie Pathologique*

## **INGENIEURS DE RECHERCHE**

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*  
M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*  
M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*  
M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*  
Mme **DEBREUQUE Maud**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*  
Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*  
Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*  
Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*  
Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*  
Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*  
Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*  
M. **RAMON PORTUGAL Felipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*  
M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*  
Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*  
M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*  
Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*  
Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*  
Mme **SAADA Chloé**, *Gestion intégrée de la santé des ruminants*

## REMERCIEMENTS

### **AUX MEMBRES DU JURY**

#### **A Monsieur le Professeur Stéphane BERTAGNOLI**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,  
Pathologie infectieuse

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse,  
*Hommages respectueux.*

#### **A Monsieur le Docteur Guillaume LE LOC'H**

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,  
Médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Pour m'avoir proposé ce sujet de thèse et pour sa confiance  
Pour sa bienveillance, sa disponibilité et son aide précieuse,  
*Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.*

#### **A Monsieur le Docteur Nicolas GAIDE**

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Histologie, Anatomie Pathologique

Qui a accepté d'être l'assesseur de mon jury de thèse,  
*Sincères remerciements.*

#### **A Madame Anouk DECORS**

Chargée de recherche

Direction de la recherche et de l'appui scientifique au sein de l'Office Français de la Biodiversité

Pour son encadrement, sa disponibilité et ses précieux conseils,  
*Avec mes remerciements sincères.*

A **Monsieur Nicolas TOULET** (Chargé de recherche au sein de l'OFB), au **Docteur Ariane PAYNE** (Adjointe et administratrice réseaux au sein de l'OFB) et au **Docteur Lorette HIVERT** (Assistante Hospitalière au Centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT) pour leurs conseils et aide dans la réalisation de cette thèse.



## **Table des matières**

|   |    |
|---|----|
| <i>Table des matières</i> .....   | 7  |
| <i>Table des figures</i> .....  | 13 |
| <i>Table des tableaux</i> .....   | 15 |
| <i>Tables des annexes</i> .....   | 17 |
| <i>Abréviations</i> .....   | 20 |
| <i>Introduction</i> .....   | 21 |
| <b>I ETAT DE L'ART SUR LES PRINCIPALES CAUSES DE TRAUMATISMES ET LES LESIONS ASSOCIEES CHEZ LA FAUNE SAUVAGE AVIAIRE ET LES CHIROPTERES</b> |    |
| 22  |    |
| I.A Présentation des classes et ordres étudiés et de l'état de conservation.....  | 23 |
| I.A.1 Classe <i>Aves</i> .....  | 23 |
| I.A.1.1 <i>Anseriformes</i> .....   | 23 |
| I.A.1.2 <i>Accipitriformes</i> .....  | 23 |
| I.A.1.3 <i>Ciconiiformes</i> .....  | 23 |
| I.A.1.4 <i>Columbiformes</i> .....  | 23 |
| I.A.1.5 <i>Falconiformes</i> .....  | 24 |
| I.A.1.6 <i>Galliformes</i> .....  | 24 |
| I.A.1.7 <i>Passeriformes</i> .....  | 24 |
| I.A.1.8 <i>Strigiformes</i> .....   | 24 |
| I.A.2 Classe <i>Mammalia</i> .....  | 24 |
| I.A.2.1 <i>Chiroptera</i> .....   | 24 |
| I.B Les causes de mortalité anthropique.....  | 25 |
| I.B.1 Mortalité aviaire .....   | 25 |
| I.B.2 Mortalité de chiroptère .....   | 26 |
| I.C Les lésions et les causes de traumatismes .....   | 27 |
| I.C.1 Lésions traumatiques.....   | 27 |
| I.C.2 Importance des traumatismes chez les oiseaux .....  | 27 |
| I.C.3 Traumatismes chez les chiroptères.....  | 28 |
| I.D Synthèse bibliographique relative aux lésions traumatiques et leurs causes associées  |    |
| 29  |    |
| I.D.1 Matériel et méthodes de l'analyse bibliographique.....  | 29 |
| I.D.2 Résultats relatifs aux traumatismes des oiseaux .....   | 31 |
| I.D.2.1 Chocs avec objet fixe .....   | 31 |
| I.D.2.1.1 Contexte.....   | 31 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| I.D.2.1.2   | Facteurs de risque de collision.....                           | 31 |
| I.D.2.1.3   | Lésions.....   | 32 |
| I.D.2.2     | Les chocs avec véhicule.....                                   | 34 |
| I.D.2.2.1   | Contexte.....  | 34 |
| I.D.2.2.2   | Facteurs de risque.....  | 34 |
| I.D.2.2.3   | Lésions.....   | 36 |
| I.D.2.3     | Électrification et collisions avec les lignes électriques..... | 37 |
| I.D.2.3.1   | Contexte.....  | 37 |
| I.D.2.3.2   | Facteurs de risque.....  | 38 |
| I.D.2.3.3   | Lésions.....   | 38 |
| I.D.2.4     | Collision avec des éoliennes.....                              | 40 |
| I.D.2.4.1   | Contexte.....  | 40 |
| I.D.2.4.2   | Facteurs de risque.....  | 41 |
| I.D.2.4.3   | Lésions.....   | 42 |
| I.D.2.5     | Piégeage et tir.....   | 42 |
| I.D.2.5.1   | Piégeage.....  | 42 |
| I.D.2.5.1.1 | Contexte.....  | 42 |
| I.D.2.5.1.2 | Types d'instruments.....                                       | 42 |
| I.D.2.5.1.3 | Lésions.....   | 43 |
| I.D.2.5.2   | Tir.....   | 44 |
| I.D.2.5.2.1 | Contexte.....  | 44 |
| I.D.2.5.2.2 | Facteurs de risque.....  | 44 |
| I.D.2.5.2.3 | Types d'armes et de munitions.....                             | 44 |
| I.D.2.5.2.4 | Lésion.....  | 44 |
| I.D.2.5.2.5 | Détection des lésions de tir.....                              | 45 |
| I.D.3       | Résultats : chauves-souris.....                                | 46 |
| I.D.3.1     | Collision avec éolienne.....                                   | 46 |
| I.D.3.1.1   | Contexte.....  | 46 |
| I.D.3.1.2   | Facteurs de risque.....  | 46 |
| I.D.3.1.3   | Lésions.....   | 47 |
| I.D.3.1.3.1 | Détection des lésions.....                                     | 47 |
| I.D.3.2     | Collision avec des véhicules.....                              | 47 |
| I.D.3.2.1   | Contexte.....  | 47 |
| I.D.3.2.2   | Facteurs de risque.....  | 48 |
| I.D.3.2.3   | Lésions.....   | 48 |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| I.D.3.3      | Prédation .....   | 48 |
| I.D.3.3.1    | Contexte .....  | 48 |
| I.D.3.3.2    | Facteur de risque .....   | 48 |
| I.D.3.3.3    | Lésions .....   | 49 |
| I.D.3.4      | Auto piégeage .....   | 49 |
| I.D.3.4.1    | Contexte .....  | 49 |
| I.D.3.4.2    | Lésions .....   | 49 |
| I.D.3.5      | Electrisation et électrocution.....   | 49 |
| I.D.3.5.1    | Contexte .....  | 49 |
| I.D.3.5.2    | Lésions .....   | 50 |
| I.D.4        | Discussion .....  | 50 |
| II           | ETUDES RETROSPECTIVES DES LESIONS TRAUMATIQUES CHEZ LA FAUNE SAUVAGE AVIAIRE ET LES CHIROPTERES .....       | 62 |
| II.A         | Matériels et méthodes .....   | 63 |
| II.A.1       | Données issues du réseau SAGIR .....  | 63 |
| II.A.1.1     | Présentation du réseau SAGIR.....   | 63 |
| II.A.1.2     | Présentation de la base de données Epifaune.....  | 64 |
| II.A.1.3     | A partir de la base de données Epifaune .....   | 64 |
| II.A.1.3.1   | L'évènement SAGIR .....   | 64 |
| II.A.1.3.2   | L'examen nécropsique .....  | 64 |
| II.A.1.3.3   | Saisie dans Epifaune.....   | 65 |
| II.A.1.3.4   | Procédures d'extraction des données de la base Epifaune .....   | 66 |
| II.A.1.3.4.1 | Case radio cochée .....   | 66 |
| II.A.1.3.4.2 | Existence d'un plan radio .....   | 66 |
| II.A.1.3.4.3 | Catégories lésionnelles mécanique et traumatique .....  | 66 |
| II.A.1.3.4.4 | Catégorie lésionnelle vasculaire .....  | 66 |
| II.A.1.3.4.5 | Catégorie plan de conclusion.....   | 66 |
| II.A.2       | Données issues de centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT .....                                       | 67 |
| II.A.2.1     | Présentation du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT .....   | 67 |
| II.A.2.2     | Extraction de données à partir de la base de données du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT ..... | 67 |
| II.A.2.2.1   | Fonctionnement du centre de soins de l'ENVT .....   | 67 |
| II.A.2.2.2   | Base de données du centre de soins de l'ENVT.....   | 68 |
| II.A.2.2.3   | Extraction des données .....  | 68 |
| II.A.2.2.3.1 | Oiseaux .....   | 68 |
| II.A.2.2.3.2 | Chiroptères.....  | 69 |

|            |  |    |
|------------|--|----|
| II.A.3     | Tri et mise en forme .....   | 69 |
| II.A.3.1   | Données Epifaune .....   | 69 |
| II.A.3.1.1 | Onglet évènement.....  | 69 |
| II.A.3.1.2 | Onglet échantillon .....   | 71 |
| II.A.3.1.3 | Onglet résultat .....  | 71 |
| II.A.3.1.4 | Simplification et regroupement des termes à partir de l'onglet résultat.                                   | 71 |
| II.A.3.1.5 | Tri des données essentielles .....   | 72 |
| II.A.3.1.6 | Mise sous la forme de matrice exploitable dans le logiciel R .....   | 72 |
| II.A.3.2   | Données du centre de soins de l'ENVT .....   | 73 |
| II.A.3.2.1 | Choix des ordres et échantillonnage.....   | 73 |
| II.A.3.2.2 | Création d'une base de données sur le modèle Epifaune avec l'implémentation de couple matrice/analyte..... | 73 |
| II.A.3.2.3 | Mise sous la forme de matrice exploitable dans le logiciel R .....   | 74 |
| II.A.4     | Méthodes d'analyses des données.....   | 74 |
| II.A.4.1   | L'analyse des correspondances multiples (ACM) .....  | 74 |
| II.A.4.2   | Test statistique du Khi-deux et exact de Fisher .....  | 74 |
| II.A.4.3   | Classification des résultats.....  | 74 |
| II.A.4.4   | Méthode de « clustering ».....   | 75 |
| II.B       | Résultats d'analyses de la classe <i>Aves</i> .....  | 75 |
| II.B.1     | Analyse descriptive des données initiales .....  | 75 |
| II.B.1.1   | Base de données Epifaune .....   | 75 |
| II.B.1.2   | Description de la base de données triées du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT .....            | 76 |
| II.B.2     | ACM avec l'ensemble des couples lésionnels .....   | 78 |
| II.B.2.1   | Analyse des données Epifaune.....  | 79 |
| II.B.2.1.1 | ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte.....  | 79 |
| II.B.2.1.2 | ACM avec retrait successif des modalités et variables extrêmes .....                                       | 80 |
| II.B.2.1.3 | ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes                                     | 81 |
| II.B.2.2   | Analyse des données du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT ..                                    | 81 |
| II.B.2.2.1 | ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte.....  | 82 |
| II.B.2.2.2 | ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes                                     | 83 |
| II.B.2.3   | Synthèse de l'analyse de l'ensemble des couples lésionnels .....   | 83 |
| II.B.2.3.1 | Données issues d'Epifaune.....   | 83 |
| II.B.2.3.2 | Données issues du centre de soin de la faune sauvage de l'ENVT .....                                       | 84 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| II.B.3     | ACM avec les variables de couple lésionnel et les ordres .....  | 85 |
| II.B.3.1   | Analyse des données Epifaune.....   | 85 |
| II.B.3.1.1 | ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte et des ordres                                      | 85 |
| II.B.3.1.2 | ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes  | 86 |
| II.B.3.2   | Analyse des données du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT ..   | 87 |
| II.B.3.2.1 | ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte et des ordres                                      | 87 |
| II.B.3.2.2 | ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes  | 88 |
| II.B.3.3   | Synthèse de l'analyse avec les ordres et couples lésionnels.....  | 88 |
| II.B.3.3.1 | Données issues d'Epifaune.....  | 88 |
| II.B.3.3.2 | Données issues du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT.....  | 89 |
| II.B.4     | ACM avec les variables de couple lésionnel, les ordres et les causes d'entrée .                                 | 90 |
| II.B.4.1   | ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte, d'ordres et de causes d'entrée.....               | 91 |
| II.B.4.2   | ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes ...                                      | 92 |
| II.B.4.3   | Synthèse de l'analyse avec les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée                            | 92 |
| II.B.5     | Analyse des associations entre cause d'entrée et ordre de la base de données du centre de soins de l'ENVT ..... | 94 |
| II.B.6     | La classification hiérarchique en clusters.....   | 95 |
| II.B.6.1   | Données issues d'Epifaune .....   | 96 |
| II.B.6.1.1 | Cluster 1.....  | 96 |
| II.B.6.1.2 | Custer 2.....   | 96 |
| II.B.6.1.3 | Cluster 3.....  | 97 |
| II.B.6.1.4 | Cluster 4.....  | 97 |
| II.B.6.1.5 | Cluster 5.....  | 97 |
| II.B.6.1.6 | Cluster 6.....  | 97 |
| II.B.6.2   | Données issues du centre de soins de l'ENVT .....   | 98 |
| II.B.6.2.1 | Cluster 1.....  | 98 |
| II.B.6.2.2 | Cluster 2.....  | 99 |
| II.B.6.2.3 | Cluster 3.....  | 99 |
| II.B.6.2.4 | Cluster 4.....  | 99 |
| II.B.6.2.5 | Cluster 5.....  | 99 |
| II.B.6.3   | Synthèse de l'analyse en clusters .....   | 99 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| II.C     | Synthèse générale des résultats des analyses.....   | 99  |
| II.C.1   | Données issues d'Epifaune.....  | 99  |
| II.C.2   | Données issues du centre de soins de l'ENVT.....  | 102 |
| II.D     | Analyse des lésions traumatiques chez les chiroptères .....   | 106 |
| II.D.1   | Données issues d'Epifaune.....  | 106 |
| II.D.2   | Données issues du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT .....   | 107 |
| II.E     | Discussion.....   | 108 |
| II.E.1   | Différences entre les deux jeux de données étudiés.....   | 108 |
| II.E.2   | Interprétation des associations lésionnelles trouvées et comparaison avec les données de la littérature ..... | 109 |
| II.E.2.1 | Cas de l'étude de l'avifaune.....   | 109 |
| II.E.2.2 | Cas de l'étude des chiroptères.....   | 113 |
|          | Conclusion.....   | 114 |
|          | Bibliographie.....  | 115 |
|          | Annexe .....  | 126 |

## Table des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 Graphique de répartition de l'état de conservation des 34 espèces de chiroptères de France métropolitaine (La Liste rouge des espèces menacées en France Mammifères de France métropolitaine UICN 2017) ..... | 25 |
| Figure 2 Principales menaces observées chez les 34 espèces de chauve-souris de France métropolitaines (UICN FRANCE et al. 2017) .....  | 26 |
| Figure 3 Comparaison des causes anthropiques directes de mortalité aviaire aux Etats-Unis d'Amérique à partir de données de 2012 à 2014 (Loss, Will, Marra 2015) .....   | 28 |
| Figure 4 Graphique descriptif de la recherche bibliographique .....  | 30 |
| Figure 5 Graphique montrant la proportion de chaque type de structure à proximité du lieu de collecte d'un évènement SAGIR .....   | 70 |
| Figure 6 Proportion du nombre d'évènements par espèces (Aves) .....  | 70 |
| Figure 7 Répartition des ordres de la classe Aves dans le fichier trié des données Epifaune..  | 75 |
| Figure 8 Répartition des lésions selon les 11 couples matrice/analyte dans la base Epifaune  | 75 |
| Figure 9 Répartition des couples lésionnels dans le fichier des données triées du centre de soins de l'ENVT .....  | 77 |
| Figure 10 Répartition du nombre de cas parmi les ordres dans le fichier de données triées du centre de soins de l'ENVT .....   | 77 |
| Figure 11 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données Epifaune avec uniquement les variables de couple lésionnel .....   | 79 |
| Figure 12 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels extraits et triés d'Epifaune .....                               | 80 |
| Figure 13 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données de l'ENVT avec toutes les variables de couple lésionnel .....  | 82 |
| Figure 14 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels de la base données de l'ENVT.....                                | 82 |
| Figure 15 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données Epifaune avec toutes les variables de couple lésionnel et les ordres .....   | 85 |
| Figure 16 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres de la base données Epifaune .....                  | 86 |
| Figure 17 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données du centre de soins de l'ENVT avec toutes les variables de couple lésionnel et les ordres .....                               | 87 |
| Figure 18 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM des données du centre de soins de l'ENVT avec tous les couples lésionnels et les ordres.....      | 88 |
| Figure 19 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données du centre de soins de l'ENVT avec toutes les variables de couple lésionnel, ordres et causes d'entrée.....                   | 91 |

|  |     |
|--|-----|
| Figure 20 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM des données du centre de soins de l'ENVT avec tous les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée..... | 92  |
| Figure 21 Représentation en cluster des différentes modalités de variables de couple lésionnel et d'ordre, à partir des données Epifaune .....   | 96  |
| Figure 22 Représentation en cluster des différentes modalités de variables de couple lésionnel, d'ordre et de cause d'entrée des données du centre de soins de l'ENVT .....  | 98  |
| Figure 23 Proportion de chacun des couples lésionnels traumatiques chez les chiroptères de l'échantillon issu d'Epifaune.....  | 106 |

## Table des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 Tableau des mots clefs de la recherche bibliographique .....  | 29 |
| Tableau 2 Nombre d'article potentiel à partir des équations de recherche à chaque étape, à l'étape 2 il y a au maximum 150 articles car 50 par base de données, ajouts de 5 articles renseignés par Anouk Decors et Guillaume Le Loc'h ainsi que 37 articles provenant des bibliographies des articles précédents, soit un total entre les étapes 3 et 4..... | 31 |
| Tableau 3 Synthèse bibliographique des lésions en fonctions des traumatismes chez les oiseaux .....   | 53 |
| Tableau 4 Synthèse bibliographique des lésions en fonctions des traumatismes chez les chiroptères .....   | 59 |
| Tableau 5 Présentation type de la base de données Excel du Centre de soins de l'ENVT.....   | 68 |
| Tableau 6 Catégorisation des causes d'entrée dans la base de donnée du Centre de soins de l'ENVT .....  | 69 |
| Tableau 7 Répartition du nombre de cas en fonction de l'ordre et de la cause d'entrée après l'échantillonnage des données du centre de soin de l'ENVT .....   | 73 |
| Tableau 8 Exemple de description d'une lésion selon le système de couple matrice analyte ..   | 74 |
| Tableau 9 Tableau de contingence des données Epifaune après le tri présentant la proportion de chaque couple matrice/analyte au sein des six ordres, abréviation des ordres dans la liste des abréviations en début de manuscrit. ....  | 76 |
| Tableau 10 Tableau de contingence des données de l'ENVT après le tri présentant la proportion de chaque cause d'entrée au sein de chaque ordre.....   | 78 |
| Tableau 11 Tableau de contingence des données de l'ENVT après le tri présentant la proportion de chaque couple matrice/analyte au sein de chaque ordre.....   | 78 |
| Tableau 12 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données d'Epifaune ; les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....  | 84 |
| Tableau 13 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT; les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....   | 84 |
| Tableau 14 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données d'Epifaune. Les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....   | 89 |
| Tableau 15 Tableau des associations entre couples lésionnels et ordres mises en évidence à partir des données d'Epifaune. Les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....   | 89 |
| Tableau 16 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT. Les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....   | 90 |

|   |     |
|---|-----|
| Tableau 17 Tableau des associations entre couples lésionnels et ordres mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT ; les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....  | 90  |
| Tableau 18 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT, les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....   | 93  |
| Tableau 19 Tableau des associations entre couples lésionnels et ordres et causes mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT, les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....   | 93  |
| Tableau 20 Tableau des associations entre couples lésionnels et causes d'entrée mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT, les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....  | 94  |
| Tableau 21 Tableau des associations entre ordres et causes d'entrée mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT, les associations en gras ont une p-valeur $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur $\leq 0,05$ .....  | 94  |
| Tableau 22 Valeurs de p-value des différentes combinaisons d'associations possibles entre les modalités de causes d'entrée et d'ordres de l'ensemble des cas traumatiques du centre de soins de l'ENVT sur la période de l'étude, les associations en gras ont une p-value $\leq 0,01$ .....  | 95  |
| Tableau 23 Tableau récapitulatif des associations très significatives trouvées à partir des données issues d'Épifaune .....   | 99  |
| Tableau 24 Tableau récapitulatif des associations très significatives trouvées à partir des données issues du centre de soins de l'ENVT.....  | 102 |
| Tableau 25 Répartition des causes d'entrée traumatiques et d'origines indéterminées des chiroptères apportés au centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT.....  | 107 |
| <i>Tableau 26 Tableau récapitulatif des résultats très significatifs de l'analyse des données issues d'Épifaune et du centre de soins de l'ENVT, regroupés selon des patrons lésionnels probables. La cohérence biologique des associations est gradée : cohérence non évidente (+), cohérente (++) et très cohérente (+++).</i> .... | 109 |

## *Tables des annexes*

|   |     |
|---|-----|
| Annexe 1 Données quantitatives des résultats de recherche en fonction de l'équation pour les oiseaux.....   | 128 |
| Annexe 2 Feuille d'admission du centre de soins de l'ENVT .....   | 129 |
| Annexe 3 Répartition des analytes en fonction de leur nombre d'occurrences. Le terme « Congestion » est considéré comme un afflux de sang dans une partie du corps que l'on différencie du terme « Hémorragie » qui implique une rupture vasculaire non physiologique. Le terme « Epanchement est une accumulation dans les tissus ou dans une cavité d'un liquide ou d'un gaz organique, il est à différencier d' « Œdème » qui est une augmentation du liquide interstitiel. « Rupture » fait référence à la rupture d'un organe suite à un traumatisme. .... | 130 |
| Annexe 4 Répartition des différents couples matrice/analyte pour l'ensemble des échantillons de classe Aves .....   | 131 |
| Annexe 5 Répartition des différents couples matrice/analyte pour l'ensemble des échantillons des chiroptères.....   | 132 |
| Annexe 6 Tableau des 11 couples matrice/lésion issus du tri des données d'Epifaune ainsi que leur écriture abrégée .....  | 132 |
| Annexe 7 Capture d'écran Excel des trois feuillets d'extraction des données Epifaune .....  | 133 |
| Annexe 8 Matrice de données Epifaune au format final pour les analyses dans le logiciel R avec uniquement les variables d'intérêts.....   | 134 |
| Annexe 9 Tableau récapitulatif selon les ordres de la proportion de chaque cause d'entrée traumatique.....  | 135 |
| Annexe 10 Tableau récapitulatif des 8 couples matrice/lésion conservés pour les analyses de la base de données du centre de soins de l'ENVT .....   | 135 |
| Annexe 11 Matrice de données du centre de soins de l'ENVT au format final pour les analyses dans le logiciel R avec uniquement les variables d'intérêt .....  | 135 |
| Annexe 12 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sauf Cou/fra depuis Epifaune .....  | 136 |
| Annexe 13 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sauf Cav/hem depuis Epifaune .....  | 136 |
| Annexe 14 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sauf Cav/hem et Cou/fra depuis Epifaune .....   | 137 |
| Annexe 15 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sauf Cav/hem, Cou/fra et Cav/rup depuis Epifaune .....  | 137 |
| Annexe 16 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Cav/hem_Y depuis Epifaune.....  | 138 |

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| Annexe 17 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Cav/hem_Y, Cou/fra_Y ou Cou/rup_Y depuis Epifaune.....                           | 138 |
| Annexe 18 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Cav/hem_Y, Cou/fra_Y ou Cav/oed_Y depuis Epifaune .....                          | 139 |
| Annexe 19 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Ail/fra_Y depuis les données de l'ENVT .....                                     | 139 |
| Annexe 20 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Ail/fra_Y ou Sa/fra_Y depuis les données de l'ENVT .....                         | 140 |
| Annexe 21 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Ail/fra_Y ou Sca/fra_Y ou Pat/fra_Y depuis les données de l'ENVT.....            | 140 |
| Annexe 22 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Ail/fra_Y ou Te/fra_Y depuis les données de l'ENVT.....                          | 141 |
| Annexe 23 | Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple des données issues d'Epifaune.....  | 142 |
| Annexe 24 | Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple des données issues du centre de soin de la faune sauvage de l'ENVT.....   | 143 |
| Annexe 25 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Cav/hem_Y depuis Epifaune. ....                                    | 143 |
| Annexe 26 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Cav/hem_Y, Te/hem_Y ou Cou/rup_Y depuis Epifaune. ....             | 144 |
| Annexe 27 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Cav/hem_Y, Te/hem_Y ou Cou/fra_Y depuis Epifaune. ....             | 144 |
| Annexe 28 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Cav/hem_Y, Te/hem_Y , Cou/fra_Y ou Cav/rup_Y depuis Epifaune. .... | 145 |
| Annexe 29 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Ail/fra_Y ou Te/hem_Y depuis les données de l'ENVT.....            | 145 |
| Annexe 30 | Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus   |     |

|   |     |
|---|-----|
| ayant comme modalité Ail/fra_Y, Te/hem_Y ou Ail/rup_Y depuis les données de l'ENVT .....  | 146 |
| Annexe 31 Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple et des ordres des données issues d'Epifaune .....  | 147 |
| Annexe 32 Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple et les ordres des données issues du centre de soin de la faune sauvage de l'ENVT .....   | 148 |
| Annexe 33 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée sans les individus ayant comme modalité Cav/rup_Y ou Ail/fra_Y depuis les données de l'ENVT .....                                      | 149 |
| Annexe 34 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée sans les individus ayant comme modalité Cav/rup_Y, Ail/fra_Y, Ail/rup_Y ou Electrocutation depuis les données de l'ENVT .....          | 149 |
| Annexe 35 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée sans les individus ayant comme modalité Cav/rup_Y, Ail/fra, Ail/rup_Y, Electrocutation ou Predation depuis les données de l'ENVT ..... | 150 |
| Annexe 36 Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple, les ordres et les causes d'entrée des données issues du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT .....   | 151 |
| Annexe 37 Tableau récapitulatif des associations significatives trouvées à partir des données issues d'Epifaune.....  | 151 |
| Annexe 38 Tableau récapitulatif des associations significatives trouvées à partir des données issues du centre de soins de l'ENVT .....   | 152 |

## *Abréviations*

Acci : *Accipitriforme*

Anse : *Ansériforme*

Cico : *Ciconiiforme*

Col : *Columbiforme*

DIV : distance d'initiation au vol

ENVT : école nationale vétérinaire de Toulouse

EU : Etats-Unis (d'Amérique)

Falc : *Falconiforme*

Gall : *Galliforme*

LVD : laboratoire vétérinaire départemental

MAM : Matrice / Analyte / Méthode

OFB : Office français de la biodiversité

Pass : *Passériforme*

SMAC : Surveillance de Mortalité Anormale des Chiroptères

Stri : *Strigiforme*

UE : Union européenne

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

## *Introduction*

Les dernières mises à jour de la Liste rouge des oiseaux nicheurs et chiroptères français révèlent que près d'un tiers des oiseaux sont menacés et qu'au moins un quart des espèces de chauve-souris sont a minima classées comme vulnérables. L'action de l'espèce humaine est majeure dans l'état de conservation de ces espèces et est responsable de nombreux traumatismes directs et indirects.

Un traumatisme physique est un ensemble de manifestations locales ou générales provoquées par une action violente sur un organisme. Toutes les espèces animales peuvent subir des traumatismes dans leur environnement, pouvant être à l'origine de leur mort. A l'échelle nationale, des dispositifs de surveillance épidémiologique au sein de la faune sauvage permettent d'apporter des données sur les cas de mortalité groupée mais aussi individuelle. Des centres de soins de la faune sauvage locale permettent aussi une prise en charge des animaux recueillis sur le territoire dans le but de les réintroduire dans leur milieu naturel dans un état physiologique leur permettant de remplir leurs fonctions biologiques.

De nombreuses études s'intéressent à l'impact des infrastructures humaines sur la dynamique des populations. Pouvoir déterminer la nature étiologique exacte d'un traumatisme présente un enjeu particulier afin d'améliorer la conservation des espèces concernées, d'identifier des risques et d'adapter les actions humaines en conséquence. Cependant pouvoir catégoriser avec certitude une lésion traumatique n'est pas aisé ; peu d'articles s'attardent sur la description lésionnelle et les liens entre type de traumatisme et lésions.

Cette étude a pour objectif de mettre en évidence des patrons lésionnels associés ou non à des groupes d'espèces et des causes traumatiques, chez les oiseaux et les chiroptères sauvages.

Tout d'abord, une synthèse bibliographique des causes de traumatismes et des lésions associées chez les oiseaux et les chauves-souris est effectuée afin de construire un référentiel des lésions observées selon la nature du traumatisme.

Ensuite, une étude rétrospective des données d'examen nécropsiques de cadavres d'oiseaux et de chiroptères collectés sur le territoire français respectivement par les réseaux SAGIR et SMAC entre 2014 et 2021 a été réalisée. Les données cliniques des oiseaux et chiroptères présentés au centre de soins de la faune sauvage de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT) entre 2016 et début 2021 ont aussi été étudiées.

L'analyse conjointe des deux bases de données doit permettre d'identifier des patrons lésionnels associés à des causes traumatiques à partir des entrées du centre de soins et d'en déduire au regard de la littérature et des commémoratifs l'étiologie traumatique des regroupements de lésions issus de la base de données SAGIR. Cela devrait pouvoir constituer une aide au diagnostic étiologique pour les autopsies effectuées dans le cadre du réseau SAGIR. Une identification plus efficace d'acte de destruction d'espèces serait possible avec d'éventuelles suites judiciaires à l'échelle de l'individu. Cela permettrait aussi une meilleure compréhension des enjeux liés à la mortalité traumatique en faune sauvage.

**I ETAT DE L'ART SUR LES PRINCIPALES CAUSES DE  
TRAUMATISMES ET LES LESIONS ASSOCIEES CHEZ  
LA FAUNE SAUVAGE AVIAIRE ET LES CHIROPTERES**

## I.A Présentation des classes et ordres étudiés et de l'état de conservation

### I.A.1 Classe *Aves*

La classe *Aves* correspond aux vertébrés tétrapodes bipèdes avec des ailes et un bec sans dents. Il existe une diversité d'espèce, de morphologie et comportementale importante entre tous les représentants de la classe *Aves*. Une étude de 2021 de l'université de Princeton a estimé le nombre d'espèces d'oiseaux à près de 9700 avec un nombre médian d'individus d'environ 50 milliards (Callaghan, Nakagawa, Cornwell 2021). En accord avec la classification du Congrès international ornithologique et la version 12.2 de 2022, un échantillon de certains ordres est étudié (ce sont les ordres les plus concernés par les traumatismes dans notre étude).

#### I.A.1.1 *Anseriformes*

Cet ordre regroupe 178 espèces, essentiellement des oiseaux aquatiques qui tiennent une place importante dans la société tant pour la chasse que pour l'élevage. Leurs masses varient de 300 g à près de 15 kg et leur taille de 30 cm à 180 cm. L'oie cendrée (*Anser anser*) est une des représentantes de cet ordre et à la base de nombreux croisements à l'origine des « oies domestiques ».

Sur la liste rouge des espèces menacées en France métropolitaine, il y a 6 espèces classées vulnérables, 2 en dangers et 2 en danger critique, sur 42 espèces (UICN et al. 2016).

#### I.A.1.2 *Accipitriformes*

Cet ordre regroupe 264 espèces, ce sont des rapaces diurnes à différencier phylogénétiquement des *Falconiformes*. Leurs masses varient de 25 g à près de 12,5 kg et leur taille de 25 cm à 150 cm. La buse variable (*Buteo buteo*) fait partie de cet ordre, l'Europe constitue son aire d'habitat permanent.

Sur la liste rouge des espèces menacées en France métropolitaine, il y a 4 espèces classées vulnérables, 4 en danger et 1 en danger critique, sur 23 espèces (UICN et al. 2016).

#### I.A.1.3 *Ciconiiformes*

Cet ordre regroupe 19 espèces, ce sont des grands échassiers. Leurs masses varient de 25 g à près de 12,5 kg et leur taille de 75 cm à 152 cm. La cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) appartient à la famille des Ciconiidae, la seule de l'ordre.

Sur la liste rouge des espèces menacées en France métropolitaine, il y a 1 espèce classée vulnérable et 2 en danger, sur 11 espèces (UICN et al. 2016).

#### I.A.1.4 *Columbiformes*

Cet ordre regroupe 351 espèces que l'on retrouve dans presque tous les habitats à l'exception de l'Antarctique. Leurs tailles varient de 15 cm à 75 cm. Ce sont essentiellement des pigeons comme le pigeon biset (*Columba livia*) ou des tourterelles comme la tourterelle turque (*Streptopelia decaocto*).

Sur la liste rouge des espèces menacées en France métropolitaine, il y a une espèce classée vulnérable, sur cinq espèces (UICN et al. 2016).

### I.A.1.5 *Falconiformes*

Cet ordre regroupe 65 espèces. Ce sont aussi des rapaces diurnes. Leurs masses varient de 28 g à 2 kg et leurs tailles varient de 55 cm à 125 cm. Le faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) est facilement reconnaissable en bord de route par son vol stationnaire.

Sur la liste rouge des espèces menacées en France métropolitaine, il y a une espèce classée vulnérable, sur six espèces (UICN et al. 2016).

### I.A.1.6 *Galliformes*

Cet ordre regroupe 302 espèces, ce sont des oiseaux omnivores à l'allure massive et aux pattes robustes. Les galliformes ont un mode de vie terrestre et présentent beaucoup d'espèces à fort intérêt économique tant par leur viande que leurs œufs à l'image du faisan de Colchide (*Phasianus colchicus*). Leurs masses varient de 275 g à 9,5 kg.

Sur la liste rouge des espèces menacées en France métropolitaine, il y a 1 espèce classée vulnérable, sur 12 espèces (UICN et al. 2016).

### I.A.1.7 *Passeriformes*

Cet ordre regroupe 6647 espèces, soit près des 2/3 de toutes les espèces. Ce sont des oiseaux généralement de petite taille à l'exception des corvidés, comme par exemple le merle noir (*Turdus merula*). Leurs tailles varient de 6,5 cm à 59 cm.

Sur la liste rouge des espèces menacées en France métropolitaine, il y a 17 espèces classées vulnérables, 14 en danger et 1 en danger critique, sur 143 espèces (UICN et al. 2016).

### I.A.1.8 *Strigiformes*

Cet ordre regroupe 254 espèces, il englobe tous les rapaces nocturnes dont la chouette hulotte (*Strix aluco*). Leurs masses varient de 31 g à 4,2 kg et leurs tailles varient de 13,5 cm à 150 cm.

Sur la liste rouge des espèces menacées en France métropolitaine, il y a 1 espèce classée vulnérable, sur 9 espèces (UICN et al. 2016).

## I.A.2 Classe *Mammalia*

Il existe près de 6500 espèces de mammifères en accord avec l'analyse américaine de 2018 (Burgin, Colella, Kahn 2018). Dans cette étude, l'analyse est limitée aux chiroptères.

### I.A.2.1 *Chiroptera*

Cet ordre des mammifères regroupe plus de 1300 espèces. Les chiroptères sont des animaux nocturnes et sont les seuls mammifères à avoir un vol actif (Farina, Lankton 2018). Les microchiroptères, ceux que l'on retrouve en Europe et Amérique du Nord, mesurent de 4 à 16 cm de long, sont essentiellement insectivores et utilisent l'écholocation ; par exemple la pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*). Les mégachiroptères sont présents en Afrique, Asie et Océanie et leurs tailles vont de quelques centimètres à 40 cm de long avec des espèces dépassant 1 kg. Elles sont frugivores voire nectarivores, on peut citer le grand macroglosse (*Macroglossus sobrinus*).

En France, il y a 34 espèces de chiroptères et près d'un quart sont au moins classées vulnérables (UICN FRANCE et al. 2017) (Figure 1).

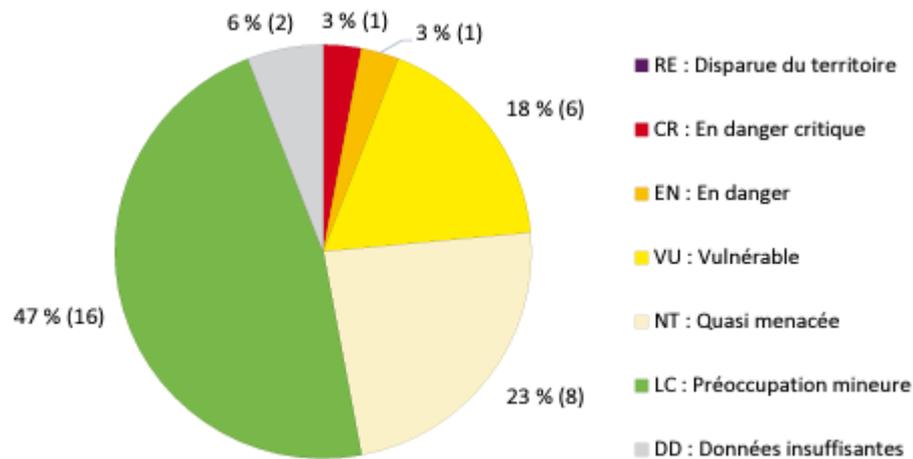


Figure 1 Graphique de répartition de l'état de conservation des 34 espèces de chiroptères de France métropolitaine (La Liste rouge des espèces menacées en France Mammifères de France métropolitaine UICN 2017)

## I.B Les causes de mortalité anthropique

### I.B.1 Mortalité aviaire

La mise à jour de la Liste rouge nationale des oiseaux nicheurs (se reproduisant en métropole) révèle qu'un tiers des espèces était menacé en 2016 contre un quart en 2008. Sur 284 espèces recensées, 48 ont eu une dégradation de leur état de conservation tandis que 19 seulement une amélioration. La dégradation des milieux de vie avec la régression des prairies et zones humides ainsi que l'intensification de l'agriculture sont des facteurs anthropiques importants (UICN 2016).

Il existe des plans nationaux d'actions visant à conserver et restaurer les espèces les plus menacées dans le contexte des directives européennes Oiseaux 2009/147/CE du 30 novembre 2009 et Habitat, Faune, Flore 92/43/CE du 21 mai 1992.

A l'international, plusieurs études nord-américaines et étasuniennes ont essayé d'estimer la mortalité aviaire annuelle hors industrie de l'élevage. Les chiffres sont assez hétérogènes et vont de 500 millions à 1 milliard (Erickson, Johnson, Jr 2005), à plus de 3 milliards de décès (Loss, Will, Marra 2015). Les principales causes d'origines anthropiques directes qui ressortent sont la prédation par les chats (errant ou non), les collisions avec les bâtiments, les collisions avec les véhicules, les collisions avec des lignes électriques, les électrisations, les collisions avec les éoliennes, les pesticides, les marées noires et l'auto-piégeage dans les filets de pêche (Erickson, Johnson, Jr 2005; Loss, Will, Marra 2015).

## I.B.2 Mortalité de chiroptère

En France métropolitaine, ce sont près de 33% des espèces de mammifères terrestres qui étaient menacées ou quasi-menacées en 2017 contre 23% en 2009. Il convient de distinguer les menaces, dans le sens d'actions ou pratiques nuisibles, des causes effectives de mortalité ; ces dernières sont les seules à pouvoir être d'origine anthropique ou non. Le rapport de la Liste rouge nationale des mammifères français met en avant plusieurs menaces pouvant nuire à l'état de conservation des chauves-souris telles que l'aménagement du territoire, l'intensification des pratiques agricoles, la réduction des surfaces arborées, les rénovations des bâtiments (Figure 2). Les causes traumatiques ne sont pas majoritaires quantitativement mais par exemple dans le cas de éoliennes 75% des espèces impactées sont menacées. La prédation, par le Chat domestique apparaît aussi comme une menace traumatique évidente (UICN FRANCE 2017).

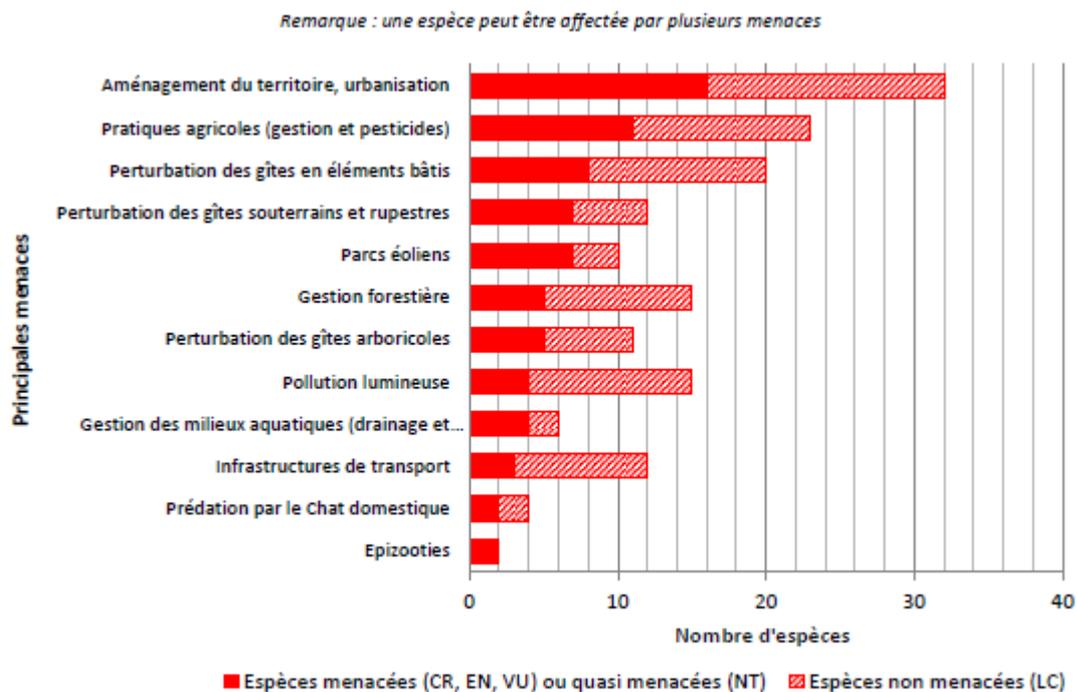


Figure 2 Principales menaces observées chez les 34 espèces de chauve-souris de France métropolitaines (UICN FRANCE et al. 2017)

Plus de la moitié des cas de mortalité groupée (>10 individus) sont d'origine anthropique (O'Shea et al. 2016).

Ainsi dans un contexte d'adaptation aux nouveaux enjeux climatiques, humains et de développement durable ; les pratiques agraires, les sources d'énergies renouvelables ou non et l'adaptation de l'habitat doivent au mieux intégrer la faune et la flore afin de limiter les effets délétères. De plus, la majorité des études sur les conséquences des sources d'énergies sur la faune sauvage ce sont intéressées à l'éolien et à l'hydroélectrique délaissant les autres sources pourtant majoritaires en termes de contribution. Le manque de données sur ces sujets n'est donc pas négligeable (Loss, Dorning, Diffendorfer 2019).

## **I.C Les lésions et les causes de traumatismes**

### **I.C.1 Lésions traumatiques**

Un traumatisme se définit comme l' « Ensemble des lésions locales intéressant les tissus et les organes provoquées par un agent extérieur ; troubles généraux qui en résultent » (*Larousse dictionnaire* 2022). Les traumatismes peuvent être contondant ou pénétrant. L'apparition de lésions dépend donc du type de traumatisme mais aussi de paramètres physiques de l'objet à l'origine du traumatisme, des caractéristiques des organes atteints et d'une multitude de facteurs externes.

L'étude des traumatismes contondant en anatomie-pathologique vétérinaire a permis d'extraire des patrons lésionnels. Les contusions sous cutanées et les lésions musculaires sont les deux types de lésions les plus fréquents lors de ce type de traumatisme. Par ailleurs, les atteintes oculaires se traduisent plutôt par des hémorragies intra et extra-oculaire, des décollements de la rétine et des exophtalmies. Les traumatismes thoraciques peuvent engendrer des hémorragies des muscles intercostaux et des fractures de côtes ainsi que des lésions cardiopulmonaires associées à des hémorragies thoraciques. Lors de traumatismes contondant abdominaux, la rate et le foie sont susceptibles de lacérations voire de rupture (Ressel, Hetzel, Ricci 2016). On retrouve ces lésions dans une étude canadienne de 2005 enquêtant sur une possible collision avec le sol de groupe d'oies. La rupture et les lacérations du foie liées à l'impact étaient les lésions les plus graves causant une hémorragie abdominale (Wobeser, Gillespie, Wyatt 2005).

Bien que l'anatomie humaine soit différente en certains points de celle des autres animaux, les lésions des traumatismes contondants sont comparables entre animaux domestiques et humains (Ressel, Hetzel, Ricci 2016).

### **I.C.2 Importance des traumatismes chez les oiseaux**

Selon une étude de 2015 sur les causes anthropiques directes de mortalité aviaire étasunienne, les sept premières causes sont traumatiques : la prédation, les collisions avec les fenêtres des bâtiments, les collisions avec les automobiles, les collisions avec les lignes électriques, les collisions avec les tours de communications, les électrocutions avec les lignes électriques et les collisions avec les éoliennes (Loss, Will, Marra 2015) (Figure 3). Ainsi se limiter à l'étude des causes traumatiques de mortalité dans un contexte d'impact humain ne semble pas trop réducteur, bien qu'une partie des causes de mortalité soit alors ignorée (cas par exemple des intoxications).

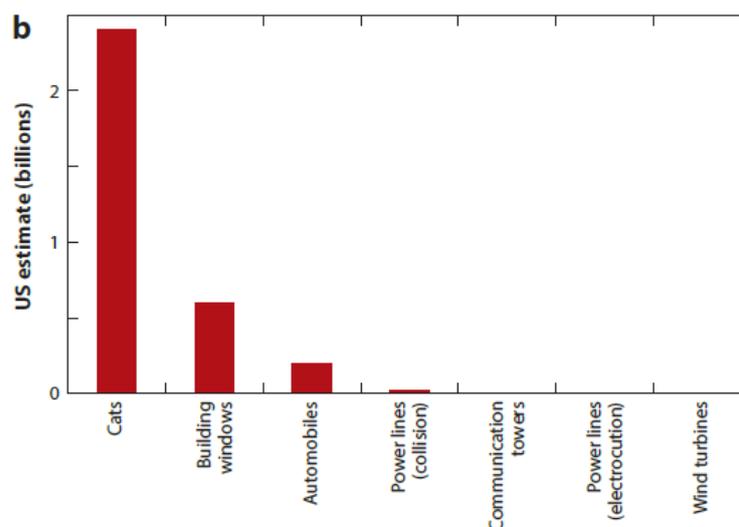


Figure 3 Comparaison des causes anthropiques directes de mortalité aviaire aux Etats-Unis d'Amérique à partir de données de 2012 à 2014 (Loss, Will, Marra 2015)

Plusieurs études américaines (Floride, nord de la Californie et Colorado) décrivent les causes de morbidité et mortalité des rapaces. De 58% à 82% des lésions étaient traumatiques et parmi celles-ci jusqu'à 87% étaient d'origine anthropique, les fractures apparaissent comme les lésions les plus fréquentes (Deem, Terrell, Forrester 1998; Morishita et al. 1998; Wendell, Sleeman, Kratz 2002). Dans tous les cas le constat est sensiblement le même, plus de la moitié des atteintes des rapaces sont des traumatismes et souvent d'origine humaine.

Plusieurs études rétrospectives européennes ont décrit les motifs d'admission des rapaces en centre de soins. Une étude rétrospective de 1995 à 2007 sur la morbidité dans un centre de soin en Espagne montre que les traumatismes d'origine anthropique (tirs, collisions avec véhicules, électrocution, collisions avec bâtiments, piégeages, collisions avec des lignes électriques, des barrières et prédatons) ou indéterminée représentent près de 50% des entrées. C'est la deuxième cause d'entrée après le ramassage des jeunes (Molina-López, Casal, Darwich 2011). Dans les Canaries, l'analyse des motifs d'admissions en centre de soins de rapaces de 1998 à 2007 présente aussi les traumatismes comme une cause majeure d'admission mais aussi de mortalité. Plus de 80% des oiseaux tirés et 70% des oiseaux rentrés en collisions ne sont pas relâchés (Rodríguez et al. 2010). En Grèce, de 1997 à 2000, 75,8% des rapaces amenés au centre hospitalier universitaire vétérinaire de Thessaloniki l'étaient pour des lésions traumatiques (Komnenou et al. 2005). En Islande, de 1966 à 1973, 32% des Faucons gerfaut (*Falco rusticolus*) trouvés morts avaient des signes de tir et 16% d'autres lésions traumatiques (Clausen, Gudmundsson 1981).

Les traumatismes d'origine anthropique s'imposent donc comme une part importante de la morbidité et mortalité aviaire sauvage dans le monde bien que la majorité des études se portent sur les rapaces.

### I.C.3 Traumatismes chez les chiroptères

Les traumatismes et les causes infectieuses représentent la majorité des causes de mortalité des chauves-souris en Allemagne (Mühldorfer et al. 2011). Les deux tournants majeurs au niveau de la mortalité des chiroptères depuis les années 2000 sont l'essor de

l'industrie éolienne et en Amérique du Nord l'apparition du syndrome du nez blanc (O'Shea et al. 2016).

Parmi les causes traumatiques, les plus fréquentes chez les chauves-souris sont : les collisions avec les éoliennes, la prédation par les félins et en particulier les chats, les électrocutions, les étranglements par auto piégeage dans les filets de protection des cultures ainsi que les lésions de morsures intra-spécifiques (Farina, Lankton 2018).

## I.D Synthèse bibliographique relative aux lésions traumatiques et leurs causes associées

### I.D.1 Matériel et méthodes de l'analyse bibliographique

La recherche bibliographique s'est faite à partir des trois moteurs de recherches suivants, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>, <https://journals.sagepub.com/home/vet> et <https://www.webofscience.com/>. Des équations de recherches ont été formées à partir de mots clefs (Tableau 1), en lien avec chaque grande entité traumatique définie comme faisant partie des causes majeures de mortalité pour les oiseaux (hors prédation) (Loss, Will, Marra 2015) et les chiroptères (Farina, Lankton 2018). Ainsi le choix non exhaustif des principales causes de mortalité de type de traumatique est le suivant :

- Les collisions avec des « objets fixes » hors éolienne, ce qui revient essentiellement aux collisions avec des bâtiments (immeuble, abris bus, vitre etc.).
- Les collisions avec des véhicules : les véhicules terrestres uniquement ont été pris en compte bien que des articles concernant les collisions avec les aéronefs aient été trouvés et analysés dès lors qu'ils semblaient pertinents.
- Les traumatismes avec les éoliennes, ce qui comprend à la fois des chocs directs mais aussi d'éventuels barotraumatismes pour les chiroptères.
- Les collisions avec des lignes électriques, avec électrocution ou non.
- Les piégeages et auto-piégeages (animaux qui se sont piégés eux-mêmes avec des éléments de leur environnement, par exemple dans un grillage de clôture).
- Les tirs
- Les prédateurs (chiroptères uniquement).

Tableau 1 Tableau des mots clefs de la recherche bibliographique

| Causes                     | Mots clefs  |
|----------------------------|---|
| Choc objet fixe            | Tower, building, glass, bird-building, bird-glass, window           |
| Choc véhicule              | Car, road traffic, road mortality, vehicle                          |
| Choc éolienne              | wind turbine, wind, wind farm                                       |
| Collision ligne électrique | Electrical wire, electrocution, power line, transmission line, line |
| Piégeage                   | Trap, springtrap, glu, gluetrapp, piégeage                          |
| Tir                        | Hunt, shoot, shot, gun, gunshot, rifle, ballistic                   |
| Prédation                  | Predation, cat  |

Des mots clefs communs à toutes les causes et orientés sur l'aspect lésionnel et traumatique ont été associés : collision, accident, fracture, bone, lesion, skeletal attempt, mortality, trauma, velocity and bone fracture, x-ray, post mortem, mortality, forensic

Pour les traumatismes liés au piégeage, des recherches en français ont été menées également, ainsi que des recherches sur google.fr et lpo.fr.

Les équations ont été créées en utilisant des connecteurs logiques afin d'optimiser la recherche. L'équation de recherche est accompagnée de la période où la recherche a été effectuée. La description précise des recherches pour la partie aviaire est détaillée par la suite (Annexe 1).

A partir des équations, un certain nombre d'articles a d'abord été identifié et la procédure ci-dessous a ensuite été appliquée afin de ne garder qu'un échantillon pertinent des articles (Figure 4, Tableau 2). La recherche s'est faite en triant les résultats par pertinence sans restriction sur la date de publication ni le type d'article. Si nous prenons l'exemple d'une recherche avec l'équation « glass collision bird » sur Pubmed.gov. Il y a 19 résultats, le premier article trouvé est « Magnitude and correlates of bird collisions at glass bus shelters in an urban landscape ». Son titre ne semble pas présenter de descriptif lésionnel mais pourrait donner des informations de contextualisation le résumé est donc lu. Il révèle que l'article s'intéresse essentiellement à l'estimation du nombre de décès d'oiseaux par collision avec des abris-bus, cet article ne sera donc pas gardé car trop précis. La seconde proposition est « Bird protection treatments reduce bird-window collision risk at low-rise buildings within a Pacific coastal protected area », le titre est assez évocateur pour écarter l'article qui présente des moyens de prévention. Finalement, la onzième proposition « Window Collisions by Birds in Brazil: Epidemiologic Factors and Radiographic and Necropsy Assessments » semble en accord avec notre recherche (on retrouve les termes « collision », « bird », « radiographic », « necropsy ») et sera gardée d'office pour une lecture de sa bibliographie et de son contenu.

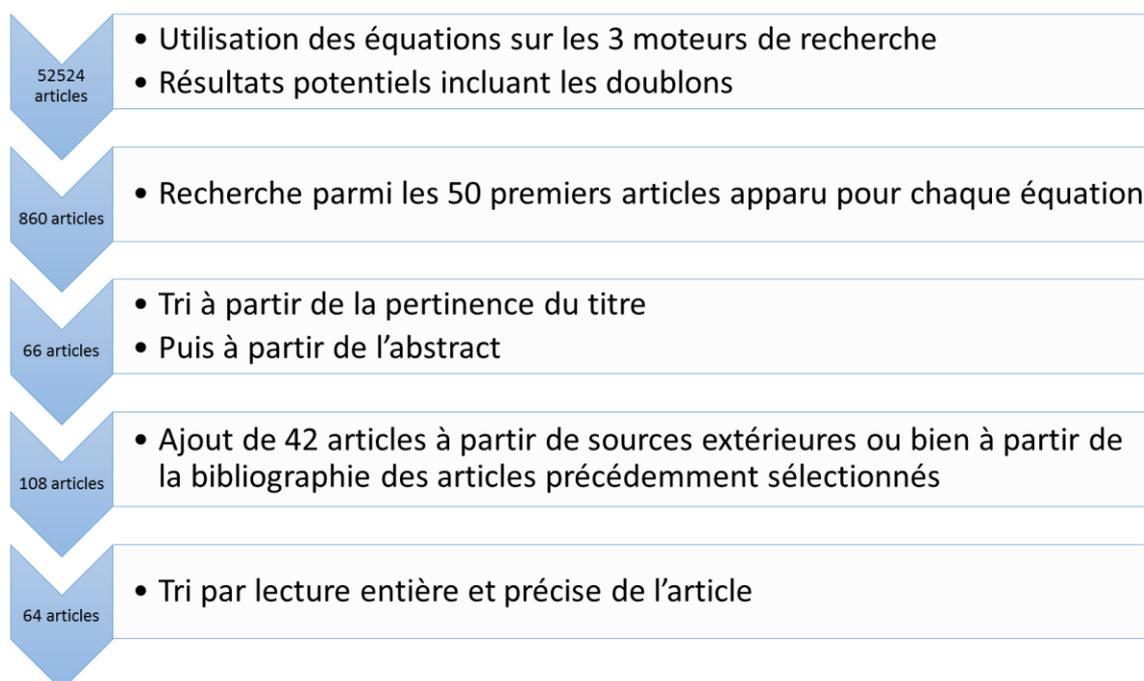


Figure 4 Graphique descriptif de la recherche bibliographique

Tableau 2 Nombre d'article potentiel à partir des équations de recherche à chaque étape, à l'étape 2 il y a au maximum 150 articles car 50 par base de données, ajouts de 5 articles renseignés par Anouk Decors et Guillaume Le Loc'h ainsi que 37 articles provenant des bibliographies des articles précédents, soit un total entre les étapes 3 et 4.

| Cause                      | Etape 1   | Etape 2    | Etape 3          | Etape 4           |
|----------------------------|---|------------|------------------|-------------------|
|                            | Nombre d'articles potentiels (proportion du total en %) |            |                  |                   |
| Choc objet fixe            | 1050  | 150        | 7 (10%)          | 15 (13%)          |
| Choc véhicule              | 6228  | 150        | 10 (15%)         | 17 (16%)          |
| Choc éolien                | 4575  | 150        | 18 (27%)         | 22 (20%)          |
| Collision ligne électrique | 39009   | 147        | 10 (15%)         | 14 (13%)          |
| Piégeage                   | 113   | 113        | 2 (3%)           | 5 (5%)            |
| Tir                        | 1549  | 150        | 8 (12%)          | 12 (11%)          |
| Divers                     |   |            | 12 (18%)         | 24 (22%)          |
| <b>Total</b>               | <b>52524</b>  | <b>860</b> | <b>67 (100%)</b> | <b>109 (100%)</b> |

Au final, **64** articles constituent la base initiale du travail bibliographique.

## I.D.2 Résultats relatifs aux traumatismes des oiseaux

### I.D.2.1 Chocs avec objet fixe

#### I.D.2.1.1 Contexte

Les « chocs objet fixe » correspondent essentiellement aux chocs contre les bâtiments ; cela concerne souvent les parties vitrées, mais aussi le mobilier urbain comme les abris bus en verre. Sont exclues les chocs contre les éoliennes. Aux Etats-Unis d'Amérique comme au Canada, la mortalité par collision avec des bâtiments serait la seconde cause de mortalité aviaire après la prédation des félidés domestiques avec entre 365 et 988 millions de morts par an (Loss, Will, Marra 2015).

#### I.D.2.1.2 Facteurs de risque de collision

La taille du bâtiment semble influencer les groupes d'espèces victimes de collision. Les espèces locales et non migratrices sont le plus affectées par les bâtiments de taille inférieure à 4 étages, les espèces migratrices le sont par ceux supérieur à 4 étages (Loss et al. 2014). Cela pourrait s'expliquer par le fait que ces dernières recherchent des zones réfléchissantes des grandes tailles à l'instar des grandes baies vitrées des immeubles compatibles avec la réverbération de points d'eau. C'est aussi ce que suggère une étude nord-américaine de 2021 qui montre que la taille du bâtiment et des vitres est proportionnelle au nombre de collisions (Elmore et al. 2021). La présence de meneaux tous les 50 cm sur des grandes baies vitrées réduirait ainsi les risques de collision (Basilio, Moreno, Piratelli 2020).

La présence de végétation autour des bâtiments ne semble par contre pas être un facteur déterminant. Les espèces locales ont une plus forte tendance à se rassembler près des mangeoires à oiseaux placées dans les jardins ce qui augmente le risque de collision avec les maisons résidentielles (Loss et al. 2014).

Certains classent les oiseaux selon deux catégories « celles qui esquivent » ou « celles qui sont plus susceptibles aux collisions ». Ce ne sont donc pas seulement les espèces

migratrices mais plus précisément celles migrant de nuit et sur de longues distances qui seraient « plus susceptibles aux collisions ». Cela n'affecterait toutefois pas la dynamique de populations des espèces concernées (Arnold, Zink 2011). Cela est aussi à mettre en lien avec le fait que ces espèces d'oiseaux parcourent de plus grandes distances et donc rencontrent plus de bâtiments. Plus généralement les espèces migratrices, insectivores et habitant dans les forêts seraient plus susceptibles aux collisions (Elmore et al. 2021).

Un autre point peut être pris en compte dans le risque de collisions : la morphologie des oiseaux. Chez les passereaux deux paramètres physiques seraient prédisposants pour les collisions : les becs relativement longs et les ailes courtes. En effet, un long bec serait à l'origine de gêne visuelle qui impacterait la capacité des petits passereaux à éviter les obstacles. De plus ces petits spécimens ont une résolution faible en termes de détails dans leur vision. Des ailes plus courtes sont associées à une plus grande manœuvrabilité et puissance. Cependant cela se traduirait dans leur comportement de vol par des marges de sécurité plus faibles ce qui les amène d'ailleurs à voler dans des environnements denses et plus encombrés avec plus d'obstacles, et à se rapprocher ainsi des zones urbaines (Jackson et al. 2020).

Les périodes de reproduction avec des combats entre mâles sont aussi des facteurs augmentant les risques de choc. De même, le style de vol, et notamment les oiseaux effectuant de nombreux décrochages plongeants est à prendre en compte (Cousins et al. 2012; Fornazari et al. 2021).

Une récente étude brésilienne a fait un état des lieux de nombreux facteurs influençant ou non les collisions. La densité d'individu par exemple n'est pas en lien avec un plus grand nombre de chocs. Il est toutefois suggéré que des relations complexes existent entre les différents paramètres (Basilio, Moreno, Piratelli 2020).

Le comportement des mâles, plus agressifs et enclins à défendre leur territoire pourrait expliquer que les oiseaux mâles soient davantage victimes de collisions. Il y aurait plus de collisions du printemps à l'automne avec deux grands pics, en juillet et en octobre, le dernier coïncidant avec une période de grande migration. Enfin il semblerait qu'il y ait plus de collisions pendant la première partie de la journée, entre 9h et 11h. (Kahle, Flannery, Dumbacher 2016).

### *1.D.2.1.3 Lésions*

Dès 1990, une étude étasunienne décrit les collisions avec les vitres. Les conséquences d'un choc avec une vitre varient beaucoup d'un individu à un autre, cela peut aller de l'absence de lésion à des fractures, des ruptures d'organes ou autres menant à la mort plus ou moins rapidement. Les fractures du squelette sont rares. Le plus fréquemment, c'est le bec qui casse. Des lésions internes se traduisent par du jetage séro-hémorragique et de l'hématémèse. Les hémorragies intracrâniennes sont possibles même sur des animaux encore vivants après le traumatisme. Une récente étude brésilienne de 2021 qui a réalisé des radiographies et des autopsies sur des cas de collisions chez les oiseaux présente les hémorragies intracrâniennes (77,3%), les contusions cérébrales (64,4%) et les hémorragies cœlomiques (40,7%) comme les principales lésions (Fornazari et al. 2021). Les fractures des cervicales ne semblent pas être une cause directe de mort (Klem 1990).

Une étude américaine de 1997 sur les rapaces suggère la présence de lésions oculaires et péri-oculaires lors de traumatismes contendants, comme par exemple lors de choc contre un

bâtiment (Davidson 1997). Une étude espagnole de 2012 chez le Petit-Duc scops (*Otus scops*) et la Chevêche d'Athéna (*Athene noctua*) (*Strigiformes*) sur les lésions ophtalmologiques consécutives à des traumatismes contendants (collisions avec des bâtiments, de véhicules etc.) révèle la présence de lésions dans 27,3 à 27,8% des cas, celles-ci étant bilatérales chez 72,1 à 81,5% des oiseaux. Les lésions les plus fréquentes sont des ulcères, des uvéites, de l'hyphéma, des lésions de cataracte, des synéchies postérieures, des hémorragies du vitré et des décollements de la rétine (Seruca et al. 2012).

En 2005, toujours aux Etats-Unis, une étude compare les lésions associées aux traumatismes de collision chez les oiseaux. Les individus sont classés selon leur âge en « Adulte », « Subadulte » et leur masse inférieure ou supérieure à 39 g. Globalement les conséquences sont identiques qu'il s'agisse de chocs contre les vitres ou de choc contre les bâtiments (hors vitre). Les lésions sous cutanées sont toutefois plus importantes dans le cas de chocs contre bâtiments. Les oiseaux migrateurs qui volent à des allures constantes ont une force d'impact plus grande lors du choc causant plus de lésions que des oiseaux volant à des allures variables proche du sol. De plus, les grands oiseaux ont plus de lésions que les petits. Il y a une présence de sang ou autre jetage dans la bouche et le nez dans 30 et 60% cas. Dans 98 à 99% des cas il y a des hémorragies crâniennes, sous-dermales à minima. Dans 82% des chocs contre bâtiments et 91% des chocs contre vitres il y a une absence de fractures du squelette (cervicales incluses). Cela va dans le sens de l'étude précédente et l'absence de mort par rupture cervicale. Les fractures concernent en majorité les os du bec, en particulier la jonction de mandibule antérieure. Il n'est pas décrit d'atteinte de la ceinture scapulaire (Veltri, Klem 2005).

Une étude néo-zélandaise de 2012, compare, elle, les lésions induites par des traumatismes avec des objets fixes à celles suites à des chocs avec des véhicules chez une espèce de pigeon endémique d'environ 600 g, les carpophages de Nouvelle-Zélande (*Hemiphaga novaeseelandiae*). Les chocs contre objet fixe se traduiraient par des traumatismes cérébraux, de lésions des coracoïdes (60% des cas), des clavicules (50% des cas) et des lésions internes en plus des lésions cutanées. En effet les fractures des coracoïdes sont sources de lacération des muscles pectoraux, des poumons ou du cœur. À cela s'ajoute la pression lors de l'impact qui peut causer la rupture de capillaires et donc contusion ou de l'hématémèse (Cousins et al. 2012).

La présence de fractures, entre autres, de la ceinture scapulaire pourrait s'expliquer ici par la masse de l'animal. En effet entre un passereau de moins de 39 g et un pigeon de 600g les forces d'impact sont de 3 à 70 fois plus importantes. Ainsi, la masse mais aussi la vitesse de l'individu sont des facteurs essentiels dans la force d'impact d'un traumatisme contendant (Cousins et al. 2012; Veltri, Klem 2005; Ressel, Hetzel, Ricci 2016).

Il serait donc possible de discriminer le type de traumatisme selon les lésions : des fractures de la ceinture scapulaire (pour des oiseaux de type *Colombiforme* d'environ 600g) plus ou moins associées à des traumatismes crâniens (fracture, hémorragie etc.) seraient à rapprocher d'une collision avec un objet fixe (Cousins et al. 2012).

L'examen des os du squelette axial passe souvent par un examen radiographique. Plusieurs méthodes de prises de clichés radiographiques ont été comparées afin de détecter une atteinte de la ceinture scapulaire chez des passereaux suite à une suspicion de collision avec une vitre. L'étude montre que 54% des individus avaient au moins une fracture de la ceinture scapulaire. La combinaison de clichés radiographiques offre une grande spécificité mais une faible sensibilité. La combinaison ayant la meilleure précision, est celle alliant les incidences,

latérale droite, ventro-dorsale et cranio-dorsale à caudo-ventrale inclinée à 45°. La spécificité et la valeur prédictive positive ne sont toutefois pas aussi importantes que pour les incidences prises séparément (Matt et al. 2022).

Cela va à contre-pieds d'une étude de 2015 sur des rapaces affirmant que l'utilisation seule ou combinée d'une incidence radiographique à 45° de face avec les incidences classiques ventro-dorsale et latérale est bien plus précise dans la détection de fractures de la ceinture scapulaire (Visser et al. 2015).

## I.D.2.2 Les chocs avec véhicule

### I.D.2.2.1 Contexte

Les « chocs véhicules » correspondent à tous les chocs contre des véhicules, essentiellement des voitures, mais aussi les avions dans une moindre mesure. Aux Etats-Unis (EU) ainsi qu'au Canada, la mortalité par collision avec des véhicules est estimée entre 88 et 339 millions d'individus par an aux Etats-Unis et 8 et 18 millions au Canada (Loss, Will, Marra 2015). En Europe, ce serait près de 194 millions d'oiseaux tués par an (Grilo et al. 2020).

### I.D.2.2.2 Facteurs de risque

Une récente étude à l'échelle européenne portant sur la mortalité routière des mammifères et des oiseaux met en évidence que les populations avec une importante densité, les individus de faible masse et avec un âge de maturité précoce sont plus à risque (Grilo et al. 2020). L'idée que l'abondance locale d'individus est proportionnelle à la mortalité routière avait déjà été évoquée dans une étude sur la mortalité routière des vertébrés dans le pourtour méditerranéen (D'Amico et al. 2015).

En terme d'influence climatique, les épisodes de grosse pluie sont corrélés avec des pics de mortalité routière chez les oiseaux hivernants dans le pourtour méditerranéen (D'Amico et al. 2015).

De même, la saisonnalité de la mortalité est mise en évidence dans une étude norvégienne avec un pic en juillet et puis une baisse en saison hivernale, la mortalité augmentant au printemps et baissant en automne. Le faible nombre de collisions en hiver peut s'expliquer par le fait qu'une majorité d'oiseaux migrent ailleurs. De même en été, le pic de mortalité semble coïncider avec la période de reproduction, de départ des jeunes et globalement de période de plus forte densité d'individus (Husby 2016). Cela est démontré aussi dans une autre étude européenne, la majorité de la mortalité routière s'étalant d'avril à septembre (Erritzoe, Mazgajski, Rejt 2003).

La morphologie de l'oiseau ainsi que le style de vol pourraient aussi être des facteurs prédisposants. Ainsi, les carpophages de Nouvelle-Zélande (*Hemiphaga novaeseelandiae*), pigeons endémiques, avec leur charge alaire (rapport entre la masse de l'oiseau et la surface portante de ses ailes) importante et leur vol rapide associé à des décrochages et des piqués, ne disposent pas d'une bonne manœuvrabilité et donc sont moins propices à esquiver un impact (Cousins et al. 2012).

Plusieurs articles font référence au comportement anti-prédateur des oiseaux ainsi qu'à la distance d'initiation de vol (DIV). La DIV correspond à la distance à partir de laquelle un oiseau va s'envoler à la vue d'un prédateur (humain, véhicule etc.) en approche.

Les oiseaux avec une masse corporelle plus importante s'envolent à une DIV plus importante mais parfois pas assez au regard du temps qu'il leur est nécessaire pour s'enfuir. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'ils ont besoin de plus se nourrir que des oiseaux de petites tailles et donc s'envolent plus tard pour manger plus. Par ailleurs, plus les oiseaux sont légers et petits, plus ils sont agiles ce qui leur permettrait de s'envoler plus tardivement (Legagneux, Ducatez 2013). Globalement les espèces qui se nourrissent (souvent des charognards) en bord de routes sont plus susceptibles d'être percutées (Husby 2016).

L'influence de la vitesse sur la DIV et donc les collisions est différemment interprétée selon les études. Sous 40km/h il y aurait peu de collisions tandis que la mortalité routière commencerait vraiment à être importante qu'à partir de 56km/h (Wascher, Janisch, Sattler 1988). Une étude étasunienne sur les urubus à tête rouge (*Cathartes aura*) va dans ce sens aussi. Plus la vitesse augmente (30, 60, 90 km/h) plus la DIV augmente. Au-dessus de 90km/h la DIV devient individu-dépendante. L'une des explications pourrait venir du fait que les vitesses des voitures dépassent la vitesse à laquelle les animaux sont habitués à réagir et donc ceux-ci ne réagissent pas correctement ni de manière systématique (DeVault et al. 2014). Une autre étude du même auteur réalisée sur le Vâcher à tête brune (*Molothrus ater*) montre que dès que la vitesse augmente les oiseaux ont moins de temps pour intégrer l'information d'un véhicule approchant. De plus pour des vitesses supérieures à 120 km/h le temps pour initier la fuite est trop court, donc la DIV aussi, ce qui rend la collision difficilement évitable (DeVault et al. 2015). Les vitesses élevées pourraient aussi causer des turbulences entraînant les petits oiseaux dans des collisions avec des véhicules. Cela étant dit, plus l'impact a lieu à une vitesse élevée et plus il est difficile de retrouver des cadavres et donc d'attester la collision meurtrière (Erritzoe, Mazgajski, Rejt 2003). Cependant dans une étude plus récente, il a été montré que la diminution de la vitesse serait associée à une diminution du bruit qui augmenterait le risque, les oiseaux étant moins susceptibles alors de détecter les véhicules en approche (Husby 2016).

Une étude réalisée en France sur la DIV, démontre qu'il y aurait un lien entre la DIV et les limitations de vitesses. Ainsi les oiseaux adaptent leur DIV en fonction de la vitesse d'un tronçon plus qu'à la vitesse réelle des voitures (Legagneux, Ducatez 2013). Cela va de pair avec une étude australienne sur des perroquets où le lien entre la vitesse et la DIV n'était pas significatif (Cárdenas et al. 2005).

La densité de voitures est aussi un facteur favorisant récurrent selon plusieurs études européennes (Erritzoe, Mazgajski, Rejt 2003; Husby 2016).

De plus, il y a plus souvent des collisions près des zones densément végétalisées, et moins souvent sur les lignes droites (Clevenger, Chruszcz, Gunson 2003). Les sections à virages sont identifiées comme plus dangereuses par plusieurs études, entre autre par le manque de visibilité, bien que les véhicules y roulent moins vite (Erritzoe, Mazgajski, Rejt 2003; Husby 2016). Les routes en sortie d'agglomération sont des zones de forte collision car il y a à la fois une végétation plus importante souvent associée à des jardins et une densité de véhicule et d'oiseaux importantes (Erritzoe, Mazgajski, Rejt 2003). Une étude en France révèle que 64% de la mortalité des effraies des clochers (*Tyto alba*) se situe dans des portions de routes surélevées passant dans des champs ouverts, sans délimitation de type haie, bocages (...). Cela serait dû à la trajectoire des oiseaux qui ne prennent alors pas assez d'altitude et sont susceptibles de percuter un véhicule. Les portions de routes encaissées sont aussi un lieu de

chasse intéressant car les bordures accueillent de nombreuses proies des chouettes, ce qui attire les rapaces et favorise les collisions (Massemin, Zorn 1998).

#### *I.D.2.2.3 Lésions*

Une étude polonaise s'est intéressée aux lésions osseuses chez les passériformes morts de collisions routières. Les cadavres ont été recueillis pendant trois ans environ, autour de Varsovie en zone de culture agricole. Sur 35 animaux, 47% de cas présentaient des atteintes osseuses et 30 lésions osseuses différentes ont été décrites, principalement sur les os longs des ailes (n=15) ou des pattes (n=14). Un unique cas de dislocation spinale a été rapporté. Les fractures du radius sont plus fréquentes que celle de l'ulna probablement car ce dernier est crânial à l'ulna et de plus petit diamètre. Il n'y aurait pas de lien entre la masse et la localisation ou le nombre de lésions, et cela dépendrait plutôt de la vitesse du véhicule et de la surface de contact lors du choc. Pour l'auteur, ces lésions ne sont en général pas mortelles et ne seraient donc pas la cause primaire de la mort. L'animal serait toutefois dans l'incapacité de voler et resterait sur le bord de la route (Orłowski, siembieda 2005).

Dans l'étude néo-zélandaise qui compare les lésions induites par une collision avec véhicule et celles occasionnées par un choc avec un bâtiment, le constat est sans appel : des lésions aux ailes et aux pattes sont associées à une forte probabilité de choc avec un véhicule. Parmi les segments osseux atteints, le plus fréquent est le fémur. Des lésions internes sont aussi possibles selon la force de l'impact mais ne permettent pas de dissocier le type de traumatisme. Des lésions cutanées ou sous-cutanées assez générales peuvent être présentes : ecchymose, alopecie, trace d'abrasion de la peau suite par exemple à un frottement avec le bitume d'une route (Cousins et al. 2012). Contrairement à ce qui est avancé par certains auteurs (Orłowski, siembieda 2005), cette étude considère que la masse de l'individu peut aussi expliquer le type de lésions.

Une étude rétrospective, coréenne de 2013 à 2015, a analysé les fractures chez les rapaces. En accord avec les sources antérieures, les fractures de l'humérus, puis du radius et de l'ulna sont les plus fréquentes chez les rapaces. A l'opposé, les fractures des carpes et métatarses sont les moins fréquentes (Kim, Kwon 2016; Komnenou et al. 2005). Une importante proportion des fractures est comminutive. Cela pourrait s'expliquer par le fait que l'énergie dissipée dans les tissus adjacent est d'autant plus importante que la vitesse est grande. Ainsi des impacts à faible vitesse causeraient des fractures simples et ceux à grandes vitesse complexes (Kim, Kwon 2016).

A titre illustratif, un cas clinique roumain publié en 2020 reprend trois cas de buses variable (*Accipitriformes*) recueillies en centre hospitalier vétérinaire universitaire. Un des cas était un juvénile percuté par une voiture qui présentait à l'admission une fracture métaphysaire distale de l'humérus droit (Vasiu et al. 2020).

Un autre cas clinique, issu de la médecine médico-légale humaine analyse entre autre les lésions suite à une collision mortelle entre un motard, une buse variable et une voiture en Suisse. La victime humaine et l'oiseau, ont fait l'objet d'un examen post-mortem tomodensitométrie et d'une autopsie, dans le cadre d'une enquête. La buse variable a percuté le casque du motard qui doublait, à une vitesse d'environ 80-90 km/h, causant sa collision avec une voiture sur la voie opposée. L'oiseau présente un traumatisme contendant sur le flanc gauche avec une fracture disloquée de l'humérus gauche, un hématome rétro-costal à gauche, des ruptures

hépatiques multifocales sur le côté gauche, des fractures de côtes à gauche associées à des ponctuations pulmonaires, une fracture de la colonne en région thoracique et finalement du jetage sanguin (Tschui et al. 2016).

Comme citées précédemment, les études américaine de 1997 et espagnole de 2012 sur les rapaces suggèrent la présence de lésions oculaires et péri-oculaires bilatérales lors de traumatismes (dans 72,1 à 81,5% des cas) (Seruca et al. 2012; Davidson 1997).

Plusieurs rapports étudient la mortalité aviaire en milieu aéroportuaire dans le cadre du « International Bird Strike Committee ». En 1998 à partir d'un échantillon de 92 oiseaux de l'aéroport de Dublin, un « syndrome lésionnel de l'oiseau percuté » est décrit : des lésions majoritairement en partie ventrale, de nombreuses fractures des côtes, des fractures du squelette appendiculaire et axial, des lésions internes voire une éviscération de la cavité cœlomique. Le fait que la majorité des lésions soient ventrales pourrait s'expliquer par le fait que ce soit la partie exposée lors de la fuite de l'oiseau (Lyne 1998). Sept ans après le rapport précédent, un second a été réalisé sur des cadavres issus de collision sur les aéroports de Cork et Dublin mais aussi sur des cadavres d'oiseaux tirés au fusil ou ayant eu une collision routière. Deux groupes de lésions apparaissent : un premier avec des lésions principalement au niveau du thorax (81.8%) ; un second groupe avec des lésions principalement au niveau du crâne, de la nuque et de la colonne. Les auteurs nuancent la présence d'un syndrome lié aux collisions avec des avions étant donné que ce schéma lésionnel semble valoir pour au moins trois causes différentes (tir, collision avec véhicule, collision avec avion).

Dans une étude plus récente réalisée à partir d'oiseaux de l'aéroport JFK de New York, les oiseaux présentaient majoritairement des lésions en partie ventrale et dans la moitié postérieure du corps. De nouveau la localisation ventrale est une possible conséquence d'un comportement de fuite avec une DIV somme toute trop courte (Bernhardt et al. 2010).

Un dernier cas clinique publié reprend l'analyse de quatre cas avérés de collisions avec des avions au Brésil. Les lésions décrites sont assez générales et hétérogènes : lésions liées directement au traumatisme contendant, abrasions, ecchymoses, hématomes, fractures appendiculaires ou du crâne, éviscérations, lésions internes. D'après l'étude, les paramètres tels que la masse de l'oiseau, le type d'engin, la vitesse (...) sont cruciaux dans la diversité des lésions, ce qui rend difficile l'émergence d'une tendance (Silva et al. 2018).

### I.D.2.3 Électrisation et collisions avec les lignes électriques

#### I.D.2.3.1 Contexte

Les traumatismes liés aux lignes électriques sont de plusieurs types et létaux ou non : collisions *stricto sensu*, électrisation qui est le passage d'un courant électrique dans un corps provoquant des lésions plus ou moins importantes, électrocution qui est une électrisation létale. Aux Etats-Unis cela représenterait entre 7 et 57 millions de morts par collision et entre 900 000 et 11,5 millions de morts par électrocution par an (Loss, Will, Marra 2015).

Des espèces vulnérables pourraient de plus vraiment être impactées par ce type de traumatisme. C'est ce qui semble être le cas pour les populations d'Aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) en Catalogne comme le suggère une étude espagnole. L'impact réel serait plus important qu'estimé jusque-là (Rollan et al. 2010).

### *I.D.2.3.2 Facteurs de risque*

Les électrisations dépendent de plusieurs paramètres clefs dont la taille de l'oiseau, les conditions d'humidité, le temps d'exposition, le type de courant et les paramètres électriques (intensité du courant, résistance, voltage). Ces nombreuses variables rendent les lésions difficilement prédictibles (Schulze et al. 2016). L'électrisation se produit dès lors qu'un oiseau touche deux éléments conducteurs ou un élément conducteur et un élément relié à la terre (Bevanger 1998; Di Maio, DiMaio 2001).

Une synthèse bibliographique britannique de 2008 montre que la majorité des publications tiennent la morphologie des oiseaux comme un facteur essentiel dans les collisions (Drewitt, Langston 2008). Les oiseaux « longs » avec une masse faible et de grandes ailes et queue sont plus à risque d'électrocution (Bevanger 1998). Les oiseaux « courts » avec une masse importante, des ailes et une queue courtes sont plus à risque de collision (Bevanger 1998; Janss 2000). Une étude norvégienne de 1998 précise que les oiseaux avec un vol rapide et une masse importante manquent de manœuvrabilité. En effet la charge alaire est défavorable et ils sont donc plus susceptibles de rentrer en collision avec des lignes électriques. Par ailleurs, plus les ailes sont courtes et plus cela confère de la manœuvrabilité. Ainsi comme c'est le cas pour beaucoup de rapaces qui chassent à l'affût et en poursuivant leurs proies, ce surcroît de manœuvrabilité entraîne des comportements de vol à risques à proximité des lignes électriques augmentant le nombre de collisions. A envergure et charge alaire égales, le comportement est aussi un facteur à considérer (Janss 2000). Une étude américaine de 2006 reprend ces notions et précise que des oiseaux avec une grande envergure (aigles par exemple) peuvent relier des pôles conducteurs horizontalement tandis que d'autres avec de grandes pattes (hérons par exemple) le font verticalement, ce qui mène dans les deux cas à une électrocution (APLIC 2006).

Tous les oiseaux qui utilisent les lignes électriques comme lieux de chasse, repos, pour nicher ou se percher sont à risque (Janss 2000; APLIC 2006).

Les *Galliformes*, *Gruiformes*, *Pelecaniformes* et *Ciconiiformes* sont les ordres qui rentrent proportionnellement le plus en collision. Les *Ciconiiformes*, *Falconiformes*, *Strigiformes* et *Passériformes* sont ceux qui proportionnellement se font le plus électrocuter (Bevanger 1998). D'après une étude ultérieure espagnole, les rapaces, les corvidés et les oiseaux utilisant les courant chauds pour planer (vautour etc.) sont plus à risque de s'électrocuter (Janss 2000). Un rapport de 1989 du « British Trust for Ornithology » présente les ardéidés (*Pelecaniformes*), les rallidés (*Gruiformes*) et les *Ansériformes* comme étant les groupes d'espèces ayant le plus de collisions avec des lignes électriques (Rose, Baillie 1989).

Les juvéniles seraient plus susceptibles d'être électrocutés, comme démontré chez l'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) par une étude américaine. Cette étude précise aussi qu'un plumage sec est un excellent isolant mais que mouillé cela devient un bon conducteur, et que les conditions climatiques sont essentielles. De même, plus de cas de collisions et d'électrocutions sont observés au printemps et en été (APLIC 2006).

### *I.D.2.3.3 Lésions*

Avec les lignes électriques, comme dit précédemment il y a deux grands types de traumatismes, les collisions et les électrisations, les deux pouvant être associées. Les lésions

liées aux collisions sont considérées identiques à celles avec un bâtiment, ainsi uniquement les lésions d'électrisation seront traitées par la suite.

Le courant suit le chemin de moindre résistance du point d'entrée vers le point de sortie. La mort pourrait être causée par le passage du courant dans les centres cardiaque et pulmonaire du cerveau (Di Maio, DiMaio 2001; Kagan 2016).

Ces principes issus de la médecine médico-légale humaine semblent aussi valables pour les animaux et dans un ouvrage recensant les actes de maltraitance animale, quelques cas d'électrocution sont décrits ainsi que la théorie générale (Munro, Munro 2008). La mort provient en général suite à des lésions irréversibles sur les centres cérébraux contrôlant les fonctions vitales, à des fibrillations ventriculaires ou des asystolies (Munro, Munro 2008; Schulze et al. 2016).

Le courant rentre et sort du corps car la résistance d'un organisme est très faible. Classiquement il peut rentrer par une patte et ressortir par une autre et plus la distance entre les pattes est grande, plus la différence de potentiel est importante ce qui entraîne des dégâts supérieurs (Munro, Munro 2008). La température de l'arc électrique étant supérieure à 2500°C on peut trouver extérieurement des lésions de brûlure voir de carbonisation des plumes, de la peau et de tous les tissus adjacents, préférentiellement à un des points de contact et donc d'entrée ou sortie du courant (APLIC 2006; Munro, Munro 2008; Schulze et al. 2016; Kagan 2016). Des lésions cutanées en forme de cratère blanc porcelaine peuvent être aussi remarquées, aux pattes par exemple (Schulze et al. 2016).

Les tissus de moindre résistance sont les vaisseaux sanguins, le tissu nerveux, les muscles et les muqueuses. Le courant y passe en priorité ce qui cause des lésions internes : nécrose des tissus, lésions de l'endothélium vasculaire résultant en de l'ischémie, œdèmes et multiples lésions du tissu nerveux, ruptures hépatiques et hémorragies (Schulze et al. 2016; Kagan 2016). Des fractures lombaires ont été relevées sur des poissons, et des fractures de la colonne, du sacrum, du pelvis et du fémur ont été décrites chez des cochons. Les lésions osseuses ne sont donc pas à exclure (Schulze et al. 2016). Une étude américaine sur les électrocutions des rapaces mentionne aussi des fractures, surtout des pattes mais aussi des côtes et de la ceinture scapulaire, comme possibles dans un contexte d'électrisation, probablement suite aux contractions intenses des muscles sous l'effet du courant électrique. Sous la puissance de la décharge il y aurait aussi des amputations traumatiques des membres. A cela il ne faut pas oublié d'ajouter que dès qu'un animal s'électrocute depuis une certaine hauteur, des lésions secondaires à la chute peuvent apparaître, dont des fractures (Kagan 2016).

Les oiseaux avec une seule lésion de brûlure du 1<sup>er</sup> degré ont plus souvent cette lésion en face ventrale distale des ailes ou sur la patte distalement au grasset (Kagan 2016).

Un cas de cataracte sous capsulaire antérieure avec une perte de la vue suite à une électrisation chez un juvénile de grand-duc d'Amérique (*Bubo virginianus*) a été décrit dans la littérature. Au bout de huit semaines, et sans traitement il y a eu une amélioration de la cataracte et de la vision (Dees, MacLaren 2013). C'est un phénomène rare mais aussi décrit dans environ 6% des cas d'électrisations chez l'être humain (Schulze et al. 2016).

Une étude américaine de 2001 sur les causes de mortalité des rapaces durant deux hivers consécutifs, affirme que la quasi-totalité des oiseaux électrocutés présentent des brûlures des plumes et/ou cutanées, dans 33% des cas, des serres et tarsométatarses déformés et carbonisés.

Par contre dans 44% des cas de brûlures une observation microscopique des lésions a été nécessaire afin de pouvoir objectiver ces cas. En effet dans 38% des cas, les oiseaux électrocutés ne présentaient que de très faibles traces de brûlure difficilement confirmables sur le terrain (Olson 2002).

De façon empirique, dans différents centres de soin de la faune sauvage locale, les électrisations sont souvent associées à des lésions de brûlure et d'œdème en « diagonale » (patte/aile controlatérale), pouvant aller parfois jusqu'à la fracture.

Lors de brûlure, des particules métalliques peuvent se transférer sur la peau, c'est la métallisation. Lors de brûlures électriques il semblerait que les dépôts se fassent en périphérie des lésions tandis que lors de brûlures par chaleur *stricto sensu* cela est diffus sur l'étendue des lésions. Des processus histochimiques permettent de mettre en évidence ce processus mais avec des nombreux faux positifs sont possibles (Schulze et al. 2016).

La peau et les plumes brûlées développent des propriétés photoluminescentes dès lors qu'on les éclaire avec des longueurs d'onde de 450-570nm. Cela serait dû à une modification de la kératine des plumes brûlées, carbonisées ou pigmentées qui sous certaines longueurs d'onde brille rouge. Ainsi éclairer avec une source de lumière alternative des cadavres suspects peut être judicieux pour le diagnostic étiologique (Viner, Kagan, Johnson 2014; Kagan 2016; Schulze et al. 2016).

Le choc électrique réduit la vascularisation des tissus, la saturation en O<sub>2</sub> et le contenu en eau des cellules concernées ce qui se traduit par une diminution de la température des tissus. Ainsi utiliser la thermographie pour comparer la température des tissus serait un moyen de trouver des lésions discrètes d'électrocution, le plus important n'étant pas la température absolue des tissus mais bien la symétrie avec les structures analogues pour voir si elles sont plus froides (Melero et al. 2013).

#### I.D.2.4 Collision avec des éoliennes

##### I.D.2.4.1 Contexte

Bien qu'il y ait un manque d'études sur le lien entre les collisions avec des éoliennes et la dynamique des populations d'oiseaux, même un faible nombre de collisions chez certaines espèces de rapaces pourrait accélérer leur déclin. Aux EU, ce sont environ 234000 oiseaux qui sont tués dans des collision avec des éoliennes par an (Loss, Will, Marra 2015).

Une étude allemande de 2013 sur l'impact des éoliennes sur le milan royal (*Milvus milvus*) explique que la pérennité des populations de milans pourrait être affectée par les éoliennes. En effet même une cause additionnelle de mortalité de 3 à 5% peut annuler la croissance de la population d'une espèce. Cette étude montre que les éoliennes causeraient environ la mort de 3,1% de la population. Toutefois pour des espèces se reproduisant beaucoup, l'impact est plus limité (Bellebaum et al. 2013). Une autre étude allemande de 2019 présente que le nombre de collisions augmente avec la densité en éoliennes et que cela est majorée dans les zones d'habitat à haut potentiel qualitatif. Ainsi l'ajout d'éoliennes au cœur des habitats d'espèces vulnérables et protégées a un impact négatif quant au maintien de la population et peut compromettre les efforts de conservation (Heuck et al. 2019).

Une récente étude à l'échelle des EU démontre que l'ajout d'une éolienne par zone d'observation diminue de un à trois le nombre d'oiseaux nicheurs dans la zone. Cependant

l'étude montre aussi qu'au-delà d'une zone tampon de 1600m autour d'un champ éolien, l'effet des éoliennes sur la densité de population des espèces d'oiseaux nicheurs est négligeable (Miao et al. 2019). Une étude norvégienne sur 10 ans sur une population de Pygargue à queue blanche (*Haliaeetus albicilla*) nichant sur l'aire d'une ferme à éolienne fait un constat assez similaire. Après l'installation des éoliennes, dans un rayon de 500m autour des turbines, les Pygargues à queue blanche se reproduisent moins et avec moins de succès reproducteur, cela étant surtout expliqué par la désertion du territoire par des individus (Dahl et al. 2012).

#### *1.D.2.4.2 Facteurs de risque*

Comme présenté précédemment, la densité en éolienne n'impacte pas uniquement le succès reproducteur mais est aussi associée à un risque de collisions plus important qui est majoré dans les zones d'habitat les plus qualitatives. Les zones de nidification sont quant à elles moins concernées par les effets des éoliennes, les champs éoliens étant plus des zones de vie que de nidification (Heuck et al. 2019). L'implantation d'éoliennes sur un territoire donné dans le Wisconsin a été corrélée à une augmentation (espèce dépendante) du risque de collision des rapaces et à une diminution globale de la population de rapaces (moins 47%). Cependant un comportement d'habituation et d'esquive des zones à éoliennes semble aussi se développer, même chez les espèces les plus atteintes (Garvin et al. 2011). Ainsi, l'analyse de la mortalité d'un champ éolien présent dans des terres cultivées montre une mortalité très faible avec l'existence d'un comportement d'évitement d'au moins 30m des installations chez les oiseaux, ceci limitant clairement le risque de collisions (Jain 2005).

Concernant les caractéristiques de l'éolienne, les avis divergent quant à l'impact sur les collisions. Une étude américaine de 2007 affirme que ni le diamètre du rotor (donc la longueur des pales) ni la hauteur de la tour n'influe sur le nombre d'impacts (Barclay, Baerwald, Gruver 2007). Une seconde étude de 2019 affirme que plus la tour est basse et plus les pales sont longues, plus il y a d'impacts sur les oiseaux nicheurs (collisions et autre) (Miao et al. 2019). La vitesse des pales, à partir d'un certain nombre de rotations par minute, cause du flou cinétique ce qui les rendrait plus difficile à percevoir et à esquiver pour les oiseaux par rapport à une éolienne à l'arrêt ou avec une faible vitesse de rotation (Hodos 2003).

Dans un autre rapport de 2019, il est suggéré que les rapaces sont plus susceptibles aux collisions que les autres groupes (Allison et al. 2019).

Une étude de 2008 reprend de nombreux facteurs pouvant influencer les collisions. Les accidents de collisions sont souvent d'origine poly-factorielle. L'abondance de proies et la densité de rapaces sont des variables clefs. La topographie du terrain et la localisation sont essentielles aussi. Ainsi, la présence d'un goulot d'étranglement au niveau des éoliennes, de courants d'air chaud ou de vent sur les pentes vont influencer le risque de collisions (Drewitt, Langston 2008).

D'après un rapport américain de 2011, dans une zone étudiée du Wisconsin, 75% des oiseaux tués par collisions avec des éoliennes sont des passériformes et 10% des oiseaux du genre *Buteo* (*Accipitriformes*). La majorité des passereaux serait des migrateurs qui le plus souvent volent en groupes et la nuit à des altitudes plus basses ce qui les met à portée des pales des éoliennes. Il n'y aurait pas de lien entre présence de précipitations et un risque accru de mortalité (Grodsky et al. 2011).

Une étude néerlandaise révèle que les oiseaux les plus à risque sont ceux qui ont une activité diurne (73% des cadavres) et surtout ceux nicheurs (55% des cadavres). Les espèces migratrices seraient moins concernées (seulement 27% des cadavres), ce qui est en contradiction avec l'étude menée dans le Wisconsin en 2011 (Grodsky et al. 2011). Cela s'expliquerait par le fait que ces derniers passent moins souvent à proximité des éoliennes. *A contrario*, les populations locales qui vivent à proximité peuvent avoir des comportements de vols à « risque » dans le rayon des éoliennes (Krijgsveld et al. 2009).

En ce qui concerne l'âge et le sexe, l'analyse de la population allemande de pygargue à queue blanche démontre qu'il n'y a pas d'effet âge mais un effet sexe quant au risque de collision. Les mâles sont plus susceptibles de rentrer en collision avec une éolienne. Les différences de comportements selon les âges pour une même espèce ne peuvent pas servir par contre d'argument pour déterminer un âge prédisposé aux chocs avec éoliennes (Heuck et al. 2020). Cela va à l'encontre d'études présentant un risque de collisions majoré chez les adultes entre autre à cause des multiples interactions intra et inter-spécifiques lors de combats de territoires (Dahl et al. 2012; Bellebaum et al. 2013).

Enfin, il n'y aurait pas de lien quant à un risque augmenté de collision et une concentration en plomb élevée dans l'organisme de l'Aigle royal d'après une étude américaine de 2021 (Viner, Kagan 2021). En effet cela est suspecté car les individus avec une forte concentration (subclinique) volent jusqu'à 50% moins haut (Ecke et al. 2017) et ceux avec des signes de saturnisme (léthargie, incoordination etc.) sont plus susceptibles de rester au sol (Duerr et al. 2012).

#### *I.D.2.4.3 Lésions*

Aucune étude s'intéressant aux les lésions consécutives à des traumatismes par collisions avec des éoliennes n'a été trouvée concernant les oiseaux. Cependant des données existent sur les chauves-souris et cela sera abordé dans la partie concernée.

#### *I.D.2.5 Piégeage et tir*

##### *I.D.2.5.1 Piégeage*

###### *I.D.2.5.1.1 Contexte*

En France, le code de l'environnement encadre les pratiques de piégeage et notamment les pièges homologués ou non (cage piège autorisée). Dans le cadre des chasses traditionnelles, certaines méthodes de capture à l'aide de matole ou de pante sont autorisées. Toutes les autres pratiques utilisant des pièges mécaniques sont généralement interdites par la réglementation (piège à mâchoire utilisé notamment sur poteaux ciblant les rapaces, pièges bal-chatri). L'étude des causes d'admission des rapaces dans un centre de soins de la faune sauvage de Tenerife révèle que le piégeage était la 3<sup>ème</sup> cause d'entrée avec 4,7% des cas, après les collisions (42%) et l'inanition (5,1%). Le plus souvent il s'agissait d'oiseaux pris dans des pièges à colle pour rongeurs (Rodríguez et al. 2010). Une étude américaine met aussi en évidence qu'occasionnellement des oiseaux, plutôt des oiseaux cherchant leur nourriture au sol (54%), peuvent être pris dans des pièges qui ne leurs sont pas destinés (Waldien et al. 2004).

###### *I.D.2.5.1.2 Types d'instruments*

Le terme piège se réfère initialement à ce qui est relatif au piégeage légal. Parmi les engins ou instruments, la chasse avec des pantes et matoles consiste à faire tomber un filet ou

une cage sur les oiseaux ; la chasse à l'aide de gluaux (désormais interdite) consiste à mettre de la colle sur des branches pour que les oiseaux viennent s'y coller (ils sont décollés ensuite à l'essence pour servir d'appelant à d'autres oiseaux qui seront tirés) ; les tenderies qui sont des filets ou collet en ficelle qui attrapent ou pendent les oiseaux. Globalement ces dispositifs sont non sélectifs et entraînent ou non la mort de l'animal, avec plus ou moins de souffrance.

Il existe aussi des engins sur poteaux pour attraper les rapaces qui s'y arrêtent, ces installations sont à but purement destructif. Ce sont en général des pièges à mâchoire qui attrapent les oiseaux par les pattes. Pour les rapaces encore, on retrouve, le piège bal chatri constitué d'une cage avec un appât, (un rongeur en général) et dont les parois extérieures sont pourvues de nombreux petits filaments qui servent de collets (Berger 1959). Les pièges à rongeurs peuvent aussi parfois attraper des oiseaux dont des rapaces (Rodríguez et al. 2010). Plus généralement, les rapaces sont des espèces protégées et leur capture ou chasse ne sont pas autorisées.

Le principe des pièges à ressort et à mâchoire réside dans la fermeture et la compression de l'animal ou d'une partie alors que ceux à collets consiste en un licol à sens unique bloquant l'animal. Les pièges à cage quant à eux, font en général moins de lésions (Munro, Munro 2008).

#### I.D.2.5.1.3 Lésions

Les pièges de type bal chatri peuvent, si l'oiseau se débat, engendrer des lésions de type lacérations aux pattes, et dans une moindre mesure aux ailes (Berger 1959).

Les pièges à glue peuvent mener à la mort de l'individu selon le temps de contact, cela cause des pertes de plumes (rectrices, rémiges) occasionnées par arrachement et/ou par souillure avec les produits adhésifs. Toutefois il n'y a en général pas de fracture ou d'autre lésion grave (Rodríguez et al. 2010). Enfin, un animal qui se débat peut se blesser une patte (Cahoon Robert 2022).

Les pièges à ressort peuvent engendrer de nombreuses lésions mais généralement des écrasements. Selon la partie de l'animal qui est prise dans le système, il peut y avoir une mort consécutive à une rupture de la colonne ou bien un écrasement du thorax. De nombreuses lésions internes sont possibles : fractures de côtes, hémothorax, lacérations pulmonaires, rupture hépatique... Lorsque le mécanisme se ferme sur les pattes d'un oiseau, celui-ci, bloqué, peut mourir d'épuisement ou d'un choc septique lié à une blessure au niveau des pattes. Les lésions des pattes vont de simples abrasions cutanées, à des plaies, des hémorragies voire des fractures, celles du tibiotarse sont les plus décrites (plus fréquemment complexes). Les lésions peuvent concerner une ou deux pattes (Munro, Munro 2008).

Lors de pièges à ressort sur poteaux, l'animal est dans un premier temps bloqué puis tombe, pendu par les pattes, d'épuisement. Les mêmes lésions précédemment décrites sont retrouvées ainsi que des hémorragies des muscles de la hanche et des cuisses et des congestions de la tête. Finalement le plumage peut être abîmé (Munro, Munro 2008)

Les pièges à collet peuvent engendrer des strangulations, des lacérations, des lésions internes dont des péritonites consécutives à une trop grande striction. Les lacérations sont retrouvées autour de la zone où le collet est présent et peuvent être associées à un gonflement des tissus mous (Munro, Munro 2008).

## I.D.2.5.2 Tir

### I.D.2.5.2.1 Contexte

Le tir comme cause de mortalité ou de blessure peut s'inscrire dans un cadre légal ou illégal. Il peut être intentionnel ou accidentel. Bien qu'en France, de nombreuses espèces soient protégées (comme par exemple l'ensemble des espèces d'*Accipitriformes* et de *Strigiformes*) des cas de tirs illégaux sur ces espèces sont rapportés tous les ans. C'est le cas par exemple dans la région Auvergne-Rhône-Alpes où 22 cas de tirs ou empoisonnements sur des rapaces ont été recensés du 1 janvier 2022 au 22 août 2022 (LPO 2022).

Une étude espagnole en Castille-et-Léon montre que le tir d'oiseaux, en particulier d'espèces menacées, est présent tout au long de l'année mais que cela est majoré durant la période de la chasse. Ainsi sur des espèces menacées cela pourrait sensiblement dégrader leur pérennité (Balmori 2019). Un constat assez similaire a été réalisé dans l'Est de l'Espagne par une autre étude. Malgré les efforts de protection, les tirs illégaux persistent et sont proportionnels au nombre de licences de chasse dans un territoire donné. (Crespo, Solís, Barba 2020).

La tendance aux tirs illégaux est cependant en diminution d'année en année comme le souligne certaines études (Desmarchelier et al. 2010 ; Crespo, Solís, Barba 2020).

### I.D.2.5.2.2 Facteurs de risque

Une étude rétrospective québécoise sur près de 20 ans décrit la mortalité et la morbidité associées aux actes de tirs sur des rapaces. Sur 4805 rapaces admis au centre de soins de la Faculté de médecine vétérinaire de Montréal, seulement 6,4% présentaient des lésions de tir. La taille serait un facteur favorisant car les espèces de grande taille, comme les balbuzards pêcheurs (*Pandion haliaetus*), les urubus à tête rouge, les harfangs des neiges (*Bubo scandiacus*) et les pygargues à tête blanche, sont les espèces les plus fréquemment ciblées (Desmarchelier et al. 2010).

### I.D.2.5.2.3 Types d'armes et de munitions

Les principaux types d'armes utilisés lors de tir sur des animaux sont les fusils à air comprimés, les fusils de chasse et ceux à canon rayé (Munro, Munro 2008).

Les types de munitions diffèrent selon les armes. Les fusils à air comprimé tirent des plombs ou munitions diablo, avec une forme de jupe et une tête allant de creuse à bombée. Les munitions de fusil de chasse à grenaille émettent une multitude de projectiles de diamètre défini, augmentant la probabilité de toucher la cible au détriment de la portée et de la pénétration. Les projectiles peuvent alors être en plomb, bismuth, acier, tungstène ou être des alliages. Finalement les balles de fusils à canon rayé, en plomb ou cuivre ou avec des chemisages, sont les projectiles les plus rapides et puissants (Munro, Munro 2008; Bradley-Siemens, Brower 2016).

### I.D.2.5.2.4 Lésion

En général il est possible de trouver le point d'entrée et parfois celui de sortie du projectile. De l'ecchymose peut être présente au trou d'entrée ainsi que des plumes dans les tissus sous cutanés, emportées par le projectile (Munro, Munro 2008).

Les lésions par fusils à air comprimé sont rarement mortelles sauf pour les petites espèces. Pour les autres types de munitions, lorsqu'il y a un trou de sortie il est généralement plus large que celui d'entrée. Le trajet du projectile est étroit et hémorragique, et des lésions internes, comme des perforations intestinales, sont possibles. La mort est ainsi souvent secondaire aux lésions de tir (Munro, Munro 2008).

Les lésions faites par des munitions à grenailles de chasse sont distance-dépendantes : plus la cible est loin et plus l'impact central est petit tandis que les points d'entrée satellites augmentent par dispersion. Ainsi de multiples lésions internes et musculaires sont possibles, létales ou non. Les lésions perforantes, du crâne entre autre, permettent de mettre en évidence la direction des projectiles (Munro, Munro 2008). En effet, lors de blessure par balles, une force très importante est appliquée sur une petite surface produisant des fractures pénétrantes (Di Maio, DiMaio 2001).

Les lésions par balles peuvent être classées en deux catégories, à faible ou haute vitesse. Dans le cas des premières, on retrouve une inflammation cutanée au point d'entrée et lorsque que le projectile percute un os, en général il se fragmente et fragmente l'os. Des lésions internes de perforations sont aussi possibles. Dans le second cas, les balles, plus rapides, causent des dégâts aux structures traversées mais aussi à celles adjacentes avec la formation de lésions cavitaires d'un diamètre jusqu'à 30 fois supérieur à celui de la balle. Le trou de sortie est alors bien plus grand et irrégulier que celui d'entrée. Cependant les oiseaux ayant une structure interne légère (sacs aériens, os pneumatiques), cela engendre peu de résistance aux projectiles, et ainsi les trous d'entrée et de sortie peuvent être similaires et les lésions perforantes fréquentes (Di Maio, DiMaio 2001).

Une étude américaine de 2001 sur les causes de mortalité des rapaces durant deux hivers consécutifs, conclut que les deux signes extérieurs les plus évidents pour discerner un tir mortel d'une électrocution sont la présence de plumes coupées, cisailées (pour les tirs) ainsi que des lésions des serres et des tarsométatarses (pour les électrocutions) (Olson 2002).

Bien que ce ne soit pas une conséquence directe du tir, l'intoxication au plomb, en particulier chez les rapaces, doit être prise en considération car elle serait une cause de mort ou du moins de comorbidité importante quant à ses effets sur la biosynthèse des hèmes de fer, le métabolisme du phosphore et le stress oxydatif induit (Descalzo et al. 2021).

#### I.D.2.5.2.5 Détection des lésions de tir

Au-delà de l'examen clinique, les techniques d'imagerie sont les techniques de référence pour détecter des projectiles métalliques. La radiographie est intéressante car elle permet d'avoir rapidement un état des lieux des lésions osseuses et de la présence de projectiles fragmentés ou non (Munro, Munro 2008). Cependant l'utilisation de la tomodensitométrie est nettement plus précise et efficace dans le cas de lésions balistiques. Le mieux étant l'utilisation de « multidetector row computed tomography (MDCT) », une technique de scanner volumique (Pinto et al. 2019).

Plusieurs cas dans la littérature décrivent l'utilisation de la tomodensitométrie post-mortem. L'examen médico-légal d'une buse variable abattue illégalement en Pologne révèle ainsi, grâce à la radiographie mais aussi au scanner la présence de quatre principaux projectiles ainsi que de multiples fractures (radius, fémur) et un traumatisme médullaire entre C8 et C9 ayant causé la mort. Les analyses balistiques ont permis de déterminer la direction (par la droite)

et la force relative des projectiles ainsi que la position de l'animal qui était perché, les pattes pliées (Pankowski et al. 2018).

### I.D.3 Résultats : chauves-souris

Une étude allemande a mis en évidence des lésions de traumatisme chez 40% des chauves-souris analysées. Les fractures et les lacérations des ailes sont les lésions les plus fréquentes. Parmi les fractures dans cette étude, 90% concernent les membres thoraciques et les deux tiers sont des fractures comminutives. De plus les fractures de l'humérus et de l'avant sont celles qui ont le plus de conséquences délétères pour l'animal et influent grandement sur sa survie (Mühldorfer, Speck, Wibbelt 2011).

#### I.D.3.1 Collision avec éolienne

##### *I.D.3.1.1 Contexte*

Une étude rétrospective à l'échelle mondiale a recensé les cas de mortalité groupée (>10 individus) de chauve-souris dans la littérature. De 1970 à 2014, 281 cas de collisions mortelles avec des éoliennes impliquant 41 espèces différentes sont documentés : 21% en Europe et 75% en Amérique du Nord (4% dans le reste du monde). Depuis les années 2000 les collisions avec des éoliennes représente la cause de mortalité la plus décrite à l'échelle planétaire, représentant plus de 35% de cas (O'Shea et al. 2016).

Une estimation de 2013 de la mortalité des chiroptères causée par des collisions avec des éoliennes aux EU établit qu'entre 200 000 et 800 000 individus sont tués par an (Allison et al. 2019).

##### *I.D.3.1.2 Facteurs de risque*

Le diamètre du rotor ne semble pas influencer sur le risque de collision cependant la hauteur de l'éolienne si. La mortalité des chauves-souris par collision augmente exponentiellement en fonction de la hauteur de la tour. Cela peut s'expliquer par le fait que les nouvelles éoliennes, plus hautes, atteignent l'altitude de vol des chiroptères (Barclay, Baerwald, Gruver 2007). Bien que les chauves-souris puissent écholocaliser des structures, lors de mouvement migratoire, il se pourrait que seulement une partie des individus utilisent cette habilité ce qui peut expliquer certaines collisions (Crawford, Wilson Baker 1981).

Nonobstant, la vitesse de rotation des pales semble impliquée dans l'approche des éoliennes par les chiroptères. Ainsi, plus le vent est fort, plus les pales tournent vite et plus les individus évitent les structures. Effectivement dès lors que les éoliennes tournent peu ou pas, le flux d'air à proximité est sensiblement le même que celui à proximité d'un grand arbre (présence d'allées de tourbillons de Von Karman). Ainsi lors de chasse, des chauves-souris peuvent se diriger vers des éoliennes avec une faibles vitesse de rotation (Cryan et al. 2014).

Plusieurs études soulignent le fait que les chauves-souris en migration sont les plus impliquées dans les collisions bien que cela concerne tous les chiroptères en général (Jain 2005; Grodsky et al. 2012). De plus la période de l'année s'étendant de juillet à août coïncide avec une période de migration ainsi que la période de plus grande activité et le plus grand nombre de collisions (Jain 2005).

### *I.D.3.1.3 Lésions*

Il y a actuellement deux grands types de lésions associées à la mortalité liée aux éoliennes chez les chiroptères, les barotraumatismes et les traumatismes contendants (Grotsky et al. 2011; Farina, Lankton 2018).

L'hypothèse de barotraumatisme est la première à avoir été décrite comme cause principale de mortalité dans une étude canadienne de 2008. Aux alentours des pales, les mouvements d'air seraient à l'origine de variations brutales de pression atmosphérique. Ainsi des décompressions rapides endommageraient les organes et structures contenant de l'air. Dans 90% des cas les lésions sont des hémorragies intra-thoraciques, intra-abdominales, et pulmonaires (congestion, œdème, atelectasie, hémorragie) (Baerwald et al. 2008).

Plusieurs études nuancent cependant l'implication de barotraumatismes dans les causes de mort des chiroptères.

Dans une étude américaine de 2011, 74% des individus examinés par radiographie avaient des fractures, essentiellement des ailes et aucune des pattes. Afin d'exclure des lésions post mortem liées à une chute de haute altitude, des cadavres de chauves-souris ont été lâchés à une hauteur de 91m et aucune lésion osseuse compatible avec celles retrouvées lors de collisions n'a été observée. Par ailleurs, 52% des individus examinés avaient des lésions hémorragiques de l'oreille moyenne ou interne sans possibilité de discriminer une origine traumatique d'une origine barotraumatique (Grotsky et al. 2012).

Une analyse des lésions de chauves-souris issues de traumatismes éoliens ou de collisions avec des bâtiments révèlent une grande proportion de fractures (humérus 26%, crâne 64%, radius 28%, clavicule 20%) et des lacérations cutanées. Des cas d'hernies diaphragmatiques et périnéales sont aussi notés et seulement 6% des individus présentent des lésions de l'oreille moyenne non associées à des lésions traumatiques (Rollins et al. 2012).

Ainsi une association de traumatismes contendant liés aux chocs et de barotraumatismes, dans une moindre mesure, semble être à l'origine des lésions retrouvées dans des cas de mortalité à proximité d'éoliennes (Farina, Lankton 2018; Allison et al. 2019).

#### *I.D.3.1.3.1 Détection des lésions*

L'utilisation de la radiographie est nécessaire à la bonne détection des fractures et autres lésions osseuses. En se basant uniquement sur l'examen externe ce sont 33% de cas de fractures qui ne sont pas détectés (Grotsky et al. 2012).

### *I.D.3.2 Collision avec des véhicules*

#### *I.D.3.2.1 Contexte*

Une étude à l'échelle européenne visant à estimer la mortalité liée aux accidents de la route révèle que l'espèce de mammifère la plus touchée est la pipistrelle pygmée (*Pipistrellus pygmaeus*) ; avec une médiane de 1,76 individus tués par kilomètre de route et par an (Grilo et al. 2020). Des valeurs proches sont trouvées dans une étude polonaise sur un tronçon de 8km de route avec en moyenne 1,5 individus tués par kilomètre de route et par an (Lesiński 2007).

Une étude australienne sur l'espérance de vie d'un groupe de renards volants à tête grise (*Pteropus poliocephalus*) identifiés et lâchés (n=2244) de 1989 à 2002 a montré que sur les 86

animaux retrouvés morts, seulement 1,2% l'étaient à cause d'une collision routière (Tidemann, Nelson 2011).

Les collisions avec les véhicules sont toutefois une cause de mortalité des chauves-souris sous documentée (O'Shea et al. 2016).

#### *I.D.3.2.2 Facteurs de risque*

La période de l'année est essentielle et plusieurs études établissent une saisonnalité de la mortalité : de juillet à mi-octobre avec un pic en septembre pour une étude tchèque (Gaisler, Řehák, Bartonička 2009), d'août à mi-septembre pour une étude polonaise (Lesiński 2007).

L'environnement autour des axes routiers semble aussi jouer un rôle sur la mortalité. La même étude tchèque montre que la mortalité est significativement supérieure au niveau des sections de routes situées entre deux lacs artificiels par rapport aux autres routes. De plus la mortalité est proportionnelle à l'activité des chiroptères dans un territoire donné (Gaisler, Řehák, Bartonička 2009).

L'étude polonaise met en évidence que les plus haut taux de mortalité sont retrouvés dans les sections boisées ainsi qu'aux croisements avec ces dernières tandis que les plus faibles taux le sont au niveau des espaces fortement bétonnés avec des constructions humaines (Lesiński 2007).

Les juvéniles sont plus susceptibles de rentrer en collision que les adultes (Lesiński 2007).

L'influence des techniques de chasse et en particulier de la hauteur de vol a été étudiée. Dans un premier temps il semblait que les espèces volant bas rentraient plus en collision ( 39,5% contre 1,9% des espèces à vol haut) (Lesiński 2007). Néanmoins une seconde étude du même auteur n'a pas pu confirmer véritablement cette hypothèse (Lesiński, Sikora, Olszewski 2011).

#### *I.D.3.2.3 Lésions*

Aucune étude étudiant précisément les lésions consécutives à des traumatismes par collisions routières n'a été trouvée concernant les chiroptères.

### **I.D.3.3 Prédation**

#### *I.D.3.3.1 Contexte*

La prédation des chauves-souris est essentiellement due aux chats (Woods, McDonald, Harris 2003; Ancillotto, Serangeli, Russo 2013; Farina, Lankton 2018) bien que quelques cas de prédation par des rapaces, des renards, des serpents soient rapportés dans une méta-analyse de 2016 (O'Shea et al. 2016). La prédation par les chats est responsable de 15,3% de la mortalité des chauves-souris d'après une étude à l'échelle européenne. Par ailleurs, près de 44% des cas de prédatons non létales par des chats sont associés à des infections bactériennes, par *Pasteurella multocida* principalement (Mühldorfer et al. 2011).

#### *I.D.3.3.2 Facteur de risque*

Les chats tuent surtout les chauves-souris qui chassent ainsi les jeunes sont moins à risque car ils ne sortent pas encore voler (Ancillotto, Serangeli, Russo 2013).

La majorité de la prédation se passe durant la période estivale de reproduction (Ancillotto, Serangeli, Russo 2013).

Les chauves-souris qui vivent et chassent en milieu rural et en zone d'habitat éclaté sont plus à risque car il y a plus de chats errants (Ancillotto, Serangeli, Russo 2013). Cependant cela est à nuancer car dans une étude allemande de 2011 ce sont surtout les chauves-souris qui chassent dans les bâtiments qui sont les plus touchées par la prédation féline (Mühldorfer, Speck, Wibbelt 2011).

#### *I.D.3.3.3 Lésions*

Les lésions de prédation sont assez hétérogènes et peuvent être peu spécifiques. Une étude allemande rapporte que les cas de prédatons sont souvent associés à des lacérations du patagium et des tissus mous, avec des nombreuses infections des plaies par *Pasteurella multocida* (Mühldorfer, Speck, Wibbelt 2011).

Des hématomes des tissus sous-cutanés et des muscles sont aussi possibles (Farina, Lankton 2018).

### **I.D.3.4 Auto piégeage**

#### *I.D.3.4.1 Contexte*

Des cas d'étranglement surtout dans des filets de protection autour des vergers sont mentionnés dans une publication de 2018 mais aucune publication ne traite réellement du sujet (Farina, Lankton 2018).

Dans une publication australienne de 2011, 5,8% et 4,7% des chauve-souris retrouvées mortes le sont soit par étranglement dans des filets de protection de vergers soit par étranglement dans du fil barbelé (Tidemann, Nelson 2011).

Les pièges à colle, que ce soient ceux pour insectes ou ceux pour rongeurs affectent aussi de manière non spécifique les chiroptères (Bat conservation International 2006).

#### *I.D.3.4.2 Lésions*

Les filets de protection et les fils barbelés semblent surtout tuer les animaux pas étranglement (Tidemann, Nelson 2011). Lors de strangulation on retrouve souvent des lésions alopéciques au niveau de la zone de striction, de l'ecchymose et de la cyanose en particulier des mamelles, de la vulve et du périnée. L'examen des poumons révèle de la congestion parfois associée à de l'atélectasie (Munro, Munro 2008). On peut supposer qu'une chauve-souris bloquée sur un piège à colle meurt d'inanition et de déshydratation.

### **I.D.3.5 Electrification et électrocution**

#### *I.D.3.5.1 Contexte*

Une étude australienne présente les électrocutions comme la seconde cause de mortalité des chiroptères (18,6% des cas). Dans un autre étude du même auteur, datant de 1999, les électrocutions représentent aussi une cause de mortalité importante avec plus de 70% des cas (Tidemann, Nelson 2011).

### *I.D.3.5.2 Lésions*

Les collisions avec des lignes électriques et les électrisations produisent des lésions diverses ; cela va de l'absence de lésion à des brûlures de la peau ou du pelage. Suite à une électrocution la peau nécrose dans les deux à quatre jours et il peut y avoir des surinfections bactériennes. La présence d'œdème des méninges est aussi possible. Dans les cas non mortels de l'alopecie et de la dépigmentation peuvent aussi être retrouvées (Farina, Lankton 2018).

Lors de collisions avec une structure électrifiée, par réflexe les chauves-souris peuvent s'y agripper. Cela cause alors des lésions de brûlures et des plaies du patagium et des extrémités. Les brûlures peuvent aller jusqu'à l'os tant sur les ailes que sur les pattes qui se retrouvent parfois fusionnées sous l'effet de la chaleur. Les lésions de brûlure du patagium ont tendance à se nécroser, se dessécher et craqueler (Martin 2011).

## **I.D.4 Discussion**

La synthèse bibliographique réalisée ici a mis en évidence qu'il existe beaucoup d'études en lien avec les traumatismes chez les oiseaux et les chiroptères. Cependant la majorité des publications et textes se focalisent sur l'impact qu'ont les activités humaines sur l'évolution des populations. Certaines publications s'intéressent à la description des causes et de très rares décrivent les lésions associées aux traumatismes. L'étude bibliographique de la prédation comme cause traumatique aviaire n'a pas été réalisée car nous préférons nous restreindre à un cadre traumatique anthropique « technologique » sans prendre en compte les atteintes inter et intra-spécifiques. Les difficultés pour distinguer les consommations post-mortem des prédatations ainsi que la multitude de prédateurs et donc de types de lésions possibles sont autant de freins à la prise en compte de cette cause. Par ailleurs, la prédation peut être secondaire à un autre traumatisme (par exemple choc contre une baie vitrée), rendant l'analyse de cette cause relativement complexe. Pour les chiroptères la faible diversité de données sur les traumatismes nous a toutefois encouragée à considérer la prédation. Les informations obtenues ici sont synthétisées dans les tableaux ci-dessous (Tableau 3, Tableau 4).

Selon le type de traumatismes le nombre de publications disponibles est hétérogène (Tableau 2), 20% concernent les collisions avec des éoliennes tandis que seulement 5% le piégeage. Il y a à peu près le même nombre de publications d'intérêt pour les chocs avec objets fixe, les collisions routières et celles avec des lignes électriques (respectivement 13%, 16% et 13%).

L'analyse des tableaux de synthèse (Tableau 3 et Tableau 4), permet de réellement quantifier l'apport de la littérature concernant les lésions associées aux traumatismes. La recherche s'est voulue relativement exhaustive cependant il se peut que nouvelles études aient été publiées depuis ou que des oublis ou omissions aient été commis durant cette dernière.

Seulement quatre articles traitent réellement des lésions retrouvées lors de collisions avec des objets fixes comme des bâtiments chez les oiseaux. Ils ne s'intéressent pas aux mêmes régions du monde (EU, Europe et Nouvelle-Zélande) et n'analysent pas tous les mêmes groupes d'oiseaux. Le point commun est la présence de lésions à la tête (fractures, hémorragies, lésions oculaires) et l'absence de lésions aux vertèbres cervicales, aux pattes ou aux ailes. La présence de fracture scapulaire est décrite dans une seule étude mais encore une fois les morphologies des groupes étudiés diffèrent (Tableau 3).

Six études décrivent les lésions suite à une collision routière chez les oiseaux. Elles rapportent toutes des fractures des ailes (100% de l'humérus et 66% du radius/ulna) ; la moitié rapportent des lésions internes et des fractures des côtes ainsi que des fractures des pattes. Par conséquent, les chocs avec des véhicules semblent se démarquer par la présence de fractures appendiculaires (aile et/ou patte), ainsi que parfois par des lésions internes (fractures, ruptures d'organe...). Cependant, une étude spécifique des rapaces nocturnes décrit aussi des lésions oculaires lors de traumatismes contendants comme des collisions routières (Seruca et al. 2012) (Tableau 3).

Les lésions de tir chez les oiseaux sont aussi décrites par au moins six publications, sachant que 50% sont des cas cliniques publiés. Des lésions des ailes sont présentes dans 66% ainsi que des lésions internes suite à des perforations par les projectiles. Des fractures des pattes et des plumes sont aussi répertoriées. Hormis le crâne tous les grands segments sont atteints. Bien que le patron lésionnel soit assez généraliste, il est souvent possible de retrouver tout ou partie du projectile ainsi que de visualiser un point d'entrée voire de sortie (Tableau 3).

Néanmoins, selon une étude tout cela est à nuancer puisque lors de collisions avec des avions, des voitures ou bien des tirs, il ne semblerait pas y avoir de patron par type de traumatisme, mais plutôt soit des lésions médullaires et du crâne soit des lésions de la cavité cœlomique (hémorragie, rupture, hématome, fracture) (Sorcha 2005) (Tableau 3).

Six autres études s'attardent sur les lésions d'électrisation au sens large donc incluant les électrocutions chez les oiseaux. Le dénominateur commun qui est repris dans 80% des études est la présence de lésions cutanées et particulièrement de brûlures parfois nécrosantes principalement des extrémités. Des lésions vasculaires des poumons et du cœur sont aussi décrites dans 66% des études ; en effet le réseau vasculaire est un lieu préférentiel de passage du courant électrique. Des fractures et plaies des pattes uniquement sont aussi possibles. Aucune étude ne distingue les lésions d'électrisation de celles qui pourraient se produire lors d'une simple collision avec des câbles (Tableau 3).

Les lésions associées au piégeage chez les oiseaux dépendent totalement du type de piège. On retrouve des lésions des plumes (cassées, arrachées), des lésions internes (fractures des côtes, ruptures d'organe, hémorragies...), des fractures des pattes, particulièrement des tibiotarses (Tableau 3).

Enfin, aucune étude ne décrit les lésions chez les oiseaux causées par les éoliennes, contrairement aux chiroptères.

Certaines sources sont assez généralistes et traitent des animaux dans leur ensemble en citant toutefois les oiseaux comme exemple. Beaucoup aussi ne constituent que de simples cas cliniques ou des études avec un petit échantillon.

Concernant les chiroptères le constat est assez similaire avec peu d'études décrivant les lésions. Les grandes causes de mortalité sont par contre souvent décrites et parmi elles, la mortalité liée aux éoliennes est de loin le sujet qui est le plus étudié, probablement car c'est la principale cause de mortalité traumatique et que le développement des énergies renouvelables comme le secteur éolien est un sujet d'actualité.

Bien que de très nombreuses études parlent de l'impact des éoliennes, uniquement trois décrivent les lésions associées. Les lésions de l'oreille moyenne sont communes aux trois études

et des fractures des ailes sont décrites dans deux des trois études. Des lésions internes au thorax et à l'abdomen sont aussi décrites. Il faut retenir qu'initialement la mort était attribuée à des barotraumatismes mais deux études plus récentes nuancent cette théorie et prônent la présence de traumatismes contendants liés belle et bien au choc bien que les barotraumatismes ne puissent pas être exclus (Tableau 4).

Les lésions consécutives à la prédation ont été recherchées dans la littérature pour les chiroptères, une unique étude a été trouvée. Elle décrit des plaies et des fractures de la membrane alaire et des ailes ainsi que des contusions sur l'ensemble du corps (Tableau 4).

Une publication décrit les lésions d'auto-piégeage chez les chiroptères, qui se limitent à des strangulations (Tableau 4).

Les collisions avec les véhicules, qui sont une cause de mortalité des chauves-souris, sont sous documentées (O'Shea et al. 2016). Aucune publication ne décrit d'ailleurs les lésions associées.

Des cas d'électrocution chez les chauves-souris sont décrits en Australie cependant dans d'autres régions du monde il y a peu, voire pas d'informations. Par exemple le rapport de l'UICN France (UICN FRANCE 2017) ne mentionne pas dans les grandes menaces des chiroptères les électrocutions. Ces cas se caractérisent donc par des brûlures du corps et surtout des ailes, des plaies des ailes ainsi que parfois de l'œdème cérébral (Tableau 4).

La majeure partie des publications provient de l'hémisphère Nord et plus précisément des EU, on peut donc s'interroger sur l'extrapolation de certaines données aux espèces présentes dans d'autres régions du monde (O'Shea et al. 2016; Farina, Lankton 2018).

Le faible nombre de publications sur les lésions consécutives à des traumatismes peut s'expliquer, entre autres, par la difficulté d'accès aux cadavres d'animaux traumatisés. En effet, les découvertes d'animaux sauvages décédés sont la plupart du temps fortuites sauf lors de recherches actives bien que de nombreux biais persistent encore alors, dont la consommation par des charognards ou par exemple le fait qu'au bord d'une route un animal percuté puisse se déplacer encore quelques mètres et aller mourir dans un champ alentour. La cause exacte du traumatisme n'est donc pas forcément connue, bien que le lieu de découverte puisse orienter le diagnostic de la mort.

De plus, les animaux de la faune sauvage sont souvent trouvés morts et des autopsies ne peuvent pas toujours être réalisées dans un délai raisonnable après la mort. L'utilisation de données d'un centre de soins permet d'avoir des animaux plus souvent vivants, mais blessés, ce qui apporte un autre prisme d'analyse.

Le nombre d'études varie aussi selon l'espèce et son statut. C'est par exemple le cas des publications sur les tirs : la quasi-totalité des articles portent sur les rapaces, espèces protégées, pouvant fausser l'universalité des résultats dans un contexte d'extrapolation à l'ensemble des oiseaux.







| Electrisation/électrocution |                   |                     |            |            |                     |                   |            |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|-----------------------------|-------------------|---------------------|------------|------------|---------------------|-------------------|------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| Tir                         | Animaux           | Animaux             |            | Rapaces    |                     | Strigiformes      |            | Aves |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                             |                   | Schulze et al. 2016 | Olson 2002 | Kagan 2016 | Dees, MacLaren 2013 | Munro, Munro 2008 | APLIC 2006 |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                             |                   | X                   |            | X          |                     | X                 | X          | X    | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |  |
|                             |                   |                     | X          |            |                     |                   |            |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                             |                   |                     | X          |            |                     |                   |            |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                             | Munro, Munro 2008 | X                   |            |            |                     | X                 | X          |      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |  |

|                        |             |                                   |                          |  |  |   |   |  |   |   |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|------------------------|-------------|-----------------------------------|--------------------------|--|--|---|---|--|---|---|--|--|--|--|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
|                        | <i>Aves</i> | Olson<br>2002                     |                          |  |  | X |   |  |   |   |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  | X | X |   |   |   |   | X |   |  |
|                        |             | Vasiu et al.<br>2020              |                          |  |  |   |   |  |   |   |  |  |  |  |   | X |   | X | X |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                        |             |                                   | Pankowski<br>et al. 2018 |  |  |   |   |  | X |   |  |  |  |  |   |   | X |   | X |  |   |   |   |   |   | X |   |   |  |
|                        |             | Davidson<br>1997                  |                          |  |  |   |   |  |   | X |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                        |             | Eggert, Thali,<br>Schweitzer 2019 |                          |  |  |   |   |  | X |   |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |   | X |   |   |   |   |   |   |  |
| <i>Accipitriformes</i> |             |                                   |                          |  |  |   |   |  |   |   |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                        |             |                                   |                          |  |  |   |   |  |   |   |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| <i>Rapaces</i>         |             |                                   |                          |  |  |   |   |  |   |   |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                        |             |                                   |                          |  |  |   |   |  |   |   |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| <i>Colombiformes</i>   |             |                                   |                          |  |  |   |   |  |   |   |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                        |             |                                   |                          |  |  |   |   |  |   |   |  |  |  |  |   |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
| Piégeage               | <i>Aves</i> | Berger<br>1959                    | X                        |  |  |   |   |  |   |   |  |  |  |  | X |   |   |   |   |  |   |   |   |   |   |   |   |   |  |
|                        |             | Munro,<br>Munro<br>2008           | X                        |  |  | X | X |  |   |   |  |  |  |  |   |   |   | X | X |  | X | X | X | X | X |   |   | X |  |



Tableau 4 Synthèse bibliographique des lésions en fonctions des traumatismes chez les chiroptères

|               | Lésions générales    |         |                     |              | Tête              |  |                    | Thorax     |                   |                        | Abdomen    |                  | Ceinture scapulaire | Aile                   |                |         |                  |                 | Patte   |  |
|---------------|----------------------|---------|---------------------|--------------|-------------------|--|--------------------|------------|-------------------|------------------------|------------|------------------|---------------------|------------------------|----------------|---------|------------------|-----------------|---------|--|
|               | Hématome sous cutané | Brûlure | Hématome musculaire | Etranglement | Fracture du crâne | Lésion oreille (perforation, hémorragie) | Œdème intracrânien | Hémorragie | Lésion pulmonaire | Hernie diaphragmatique | Hémorragie | Hernie périnéale | Fracture clavicule  | Fracture non spécifiée | Plaie patagium | Brulure | Fracture humérus | Fracture radius | Brulure |  |
| Choc éolienne | Baerwald et al. 2008 |         |                     |              |                   | X  |                    | X          | X                 |                        | X          |                  |                     |                        |                |         |                  |                 |         |  |
|               | Grodsky et al. 2012  |         |                     |              |                   | X  |                    |            |                   |                        |            |                  | X                   |                        |                |         |                  |                 |         |  |
|               | Rollins et al. 2012  |         |                     |              | X                 | X  |                    |            | X                 |                        | X          | X                | X                   |                        |                |         | X                | X               |         |  |

|                 |                                |   |   |   |   |  |  |   |  |  |  |  |  |  |   |   |   |  |  |   |
|-----------------|--------------------------------|---|---|---|---|--|--|---|--|--|--|--|--|--|---|---|---|--|--|---|
| Prédation       | Mühdorfer, Speck, Wibbelt 2011 | X |   | X |   |  |  |   |  |  |  |  |  |  | X | X |   |  |  |   |
|                 |                                |   |   |   |   |  |  |   |  |  |  |  |  |  |   |   |   |  |  |   |
| Auto-piégeage   | Tidemann, Nelson 2011          |   |   |   | x |  |  |   |  |  |  |  |  |  |   |   |   |  |  |   |
| Electrification | Farina, Lankton 2018           |   | X |   |   |  |  | X |  |  |  |  |  |  |   | X | X |  |  |   |
|                 | Martin 2011                    |   | X |   |   |  |  |   |  |  |  |  |  |  |   | X | X |  |  | X |



**II ETUDES RETROSPECTIVES DES LESIONS  
TRAUMATIQUES CHEZ LA FAUNE SAUVAGE AVIAIRE  
ET LES CHIROPTERES**

L'objectif de cette étude est double. D'une part il vise à faire émerger des hypothèses quant à d'éventuels patterns lésionnels associés à des groupes d'animaux ou des causes de traumatismes, tout en les confrontant aux données de la littérature. D'autre part, il vise à aider à créer support décisionnel à destination des laboratoires réalisant les autopsies dans le cadre du réseau SAGIR, pour la rédaction des conclusions définitives des causes de mortalité. Cette étude s'intéresse à plusieurs ordres de la classe *Aves* (*Ansériformes*, *Accipitriformes*, *Ciconiiformes*, *Columbiformes*, *Falconiformes*, *Galliformes*, *Passériformes*, *Strigiformes*) et aux chiroptères.

Afin d'avoir une base de données importante et qualitative, l'analyse des lésions est faite à partir des données du réseau SAGIR et celles du centre de soin de la faune sauvage de l'ENVV.

## **II.A Matériels et méthodes**

### **II.A.1 Données issues du réseau SAGIR**

#### **II.A.1.1 Présentation du réseau SAGIR**

SAGIR est un réseau de surveillance événementielle des maladies des oiseaux et des mammifères sauvages terrestres en France. Il existe depuis 1986 dans sa forme actuelle et repose sur un partenariat entre les fédérations des chasseurs, les laboratoires vétérinaires départementaux et l'Office français de la biodiversité (OFB). Ce réseau réalise une surveillance continue des maladies létales et des processus morbides de la faune. Il peut mettre en place des surveillances renforcées sur une espèce ou une maladie, dès que nécessaire (OFB 2022; Decors et al. 2015).

Les objectifs du réseau sont multiples :

- Détecter précocement l'apparition de maladies nouvelles quelle qu'en soit la cause sur le territoire ou pour une espèce donnée et décrire les processus morbides et épidémiologiques
- Détecter les agents infectieux transmissibles à l'homme et/ou partagés par la faune sauvage et les animaux domestiques
- Caractériser dans le temps et dans l'espace les maladies des oiseaux et des mammifères sauvages à enjeu pour la santé des populations sauvages et domestiques ou pour la santé humaine
- Surveiller les effets aigus non intentionnels de l'utilisation agricole des produits phytopharmaceutiques sur les oiseaux et mammifères sauvages (OFB 2022).

La découverte des cadavres et la collecte des prélèvements s'appuient sur des observateurs de terrain, coordonnés par deux interlocuteurs techniques départementaux : un membre de la Fédération départementale des chasseurs concernée et un agent du service départemental de l'OFB. Les cadavres sont ensuite analysés par le laboratoire vétérinaire départemental (LVD), et des laboratoires spécialisés ou des laboratoires de référence au besoin. Ces résultats sont ensuite centralisés dans une base de données nationale, Epifaune, pilotée par l'OFB (Decors et al. 2022).

## II.A.1.2 Présentation de la base de données Epifaune

Epifaune permet de gérer et exploiter en temps proche du réels des données sanitaires complexes (commémoratifs, synthèse lésionnelle, données étiologiques, interprétation médicale).

Un évènement est un foyer de mortalité défini par la mortalité simultanée (même journée) d'animaux de la même espèce sur 1 km<sup>2</sup>. De plus chaque cadavre correspond à un échantillon, un évènement comprend donc de 1 à n échantillons.

Les données hébergées par Epifaune sont rangées dans différents contextes, ce qui permet de traiter les données en fonction des processus d'observation associés et de gérer la propriété et la sensibilité des données. Entre 2016 et 2019, 7846 (contextes pris en considération : SAGIR, PPA, WN, IAHP, Sylvatub et Loup/lynx/ours) évènements ont été rentrés dans la base de données (Hivert 2020).

## II.A.1.3 A partir de la base de données Epifaune

Afin de comprendre les modalités d'extraction des données, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement et l'architecture de la base de données Epifaune.

### II.A.1.3.1 L'évènement SAGIR

Pour chaque évènement donné, une unique fiche SAGIR est obligatoirement remplie. Une fiche de données SAGIR apporte de nombreux renseignements aux acteurs du réseau :

- Numéro d'Identification unique ;
- Précisions sur la découverte et la collecte du prélèvement (coordonnées du découvreur et collecteur, date, coordonnées GPS) ;
- Description du prélèvement (espèce, sexe, classe d'âge et moyen de détermination, état du cadavre et conditions de conservation) ;
- Mortalité groupée/anormale ;
- Commémoratifs de l'échantillon (environnement du cadavre, examen externe du cadavre et signes cliniques si l'animal est trouvé vivant) ;
- Suspicion du découvreur et commentaires.

### II.A.1.3.2 L'examen nécropsique

Pour chaque cadavre, un plan d'analyses est mis en œuvre comportant a minima un examen nécropsique, ainsi que d'autres examens complémentaires (bactériologie, histologie, virologie...) selon l'état d'altération du cadavre, son mode de conservation et le besoin diagnostique.

Grâce au *Vade-mecum des laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires* co-écrit par l'Office Français de la Biodiversité, l'ADILVA et Faunapath et à la formation continue du personnel des laboratoires départementaux, le protocole de l'examen nécropsique est aujourd'hui harmonisé mais garde la souplesse nécessaire au diagnostic. La procédure de cet examen pour la faune sauvage se déroule étape par étape, selon un logigramme fourni par le réseau SAGIR.

### *II.A.1.3.3 Saisie dans Epifaune*

Les résultats issus de la nécropsie sont saisis dans Epifaune sous la forme d'un triplet, Matrice / Analyte / Méthode (MAM), qu'il s'agisse de lésions, de résultats d'examens complémentaires, ou d'interprétation médicale. L'analyte peut donc être soit une lésion, soit un agent infectieux, toxique, etc.

Pour le plan autopsie, la matrice est l'organe examiné. L'analyte correspond à la lésion observée et la méthode à l'examen nécropsique (voire histologique). Chaque organe peut être décrit par un ou plusieurs MAM, selon le nombre de lésions associés à cet organe.

Une fois l'ensemble des résultats des analyses reçus, le laboratoire émet une conclusion finale retranscrite sur Epifaune dans le « Plan Conclusion définitive ».

Ce plan se présente aussi sous forme de MAM. Il comporte un champ conclusion avec quatre rubriques et un niveau de confiance :

Rubriques (niveaux d'interprétation)

- Cause définitive de la mort (exemple : sacrifice, collision, entérotoxémie)
- Processus pathologique principal
- Processus accessoires
- Découverte d'autopsie

Niveau de confiance du diagnostic, sur une échelle allant de 5 à 1.

- 5. Diagnostic de certitude
- 4. Diagnostic de suspicion fondé (basé sur des éléments anatomopathologiques et/ou des examens complémentaires concordants).
- 3. Diagnostic de suspicion (présence d'éléments anatomopathologiques et/ou résultats d'examens complémentaires évocateurs mais insuffisants ou non concordants).
- 2. Hypothèses de diagnostic (éléments anatomopathologiques et/ou résultats d'examens complémentaires très insuffisants ou absents).
- 1. Pas de conclusion (conclusion impossible ou cause indéterminée)

Ainsi parmi les causes définitives de la mort on retrouve, entre autres les termes utiles pour notre requête ; électrocution, traumatisme agression/prédation, traumatisme autre, traumatisme câble, traumatisme collision routière, traumatisme machinisme agricole, traumatisme tir.

En résumé, pour chaque cadavre collecté, les informations suivantes sont saisies sur Epifaune :

- Données issues de la fiche SAGIR : propriétés de l'événement (espèce, géolocalisation, date de découverte, nombre d'animaux collectés, ...), commémoratifs de l'événement, commémoratifs de l'échantillon.
- Données de l'examen nécropsique : état du cadavre, état corporel, principales lésions
- Résultats des analyses complémentaires selon le plan d'analyses décidé (plan radiologie, plan bactériologie, plan histologie, etc.)
- Plan Conclusion définitive

#### II.A.1.3.4 Procédures d'extraction des données de la base Epifaune

L'extraction des données s'est faite selon plusieurs angles d'approche pour recouper et avoir maximum de données en utilisant le logiciel Qlikview et la base de données Epifaune.

Chacune des extractions est mise en page dans un tableau Excel comportant trois onglets ; évènements, échantillons et résultats.

Nous avons fait les extractions de donnée via cinq filtres différents avec pour objectif de récupérer tous les cas en liens avec le sujet du 1<sup>er</sup> janvier 2014 au 31 décembre 2021.

##### II.A.1.3.4.1 Case radio cochée

La première extraction s'est faite sur la présence de la case « radio » cochée sur la fiche SAGIR d'un évènement. C'est une nouvelle case, encore peu utilisée par les agents sur le terrain qui renseigne sur la présence de radiographie ou non. Un unique évènement est récupéré, de la classe *Aves*.

##### II.A.1.3.4.2 Existence d'un plan radio

Ensuite, ont été extrait les évènements des classes *Aves* et *Chiroptera* ayant un plan d'analyse radiographie ; respectivement 15 et 6 évènements trouvés. Cela correspond aux échantillons ayant une radiographie post-mortem dont les lésions ont été saisies.

##### II.A.1.3.4.3 Catégories lésionnelles mécanique et traumatique

Les évènements avec les catégories d'analyse « mécanique » ou « traumatique » ont été extraits pour les classes *Aves* et *Chiroptera*, respectivement 234 et 15 évènements.

##### II.A.1.3.4.4 Catégorie lésionnelle vasculaire

Les évènements avec la catégorie d'analyse « vasculaire » ont été extrait pour les classes *Aves* et *Chiroptera* puis ont été supprimés, au cas par cas, notamment ceux pour lesquels les lésions étaient associées à des causes infectieuses ou toxiques (intoxication à l'anti-vitamine K par exemple) ; respectivement 284 et 11 évènements trouvés.

##### II.A.1.3.4.5 Catégorie plan de conclusion

Tous les évènements qui dans le plan conclusion avaient comme valeur possible de résultat (VPR) les termes suivants sont extraits :

Traumatisme agression/prédation OU Traumatisme autre OU Traumatisme câble OU Traumatisme collision routière OU Traumatisme de nature indéterminée OU Traumatisme machinisme agricole OU Traumatisme tir OU Electrocutation

290 évènements pour la classe *Aves* et 15 évènements pour la classe *Chiroptera* extraits d'Epifaune.

Ainsi ce sont 914 évènements de la classe *Aves* et 57 de la classe *Chiroptera* qui ont été extraits, il y a un certain nombre de doublons qui sont ensuite supprimés car les plans d'extraction se recoupent volontairement.

## II.A.2 Données issues de centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT

### II.A.2.1 Présentation du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT

Le centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT est un service clinique du Centre Hospitalier Universitaire de l'ENVT qui accueille les animaux de la faune sauvage autochtone en détresse et leur prodigue des soins dans le but de les réhabiliter dans leur milieu naturel quand cela est possible. L'équipe est composée d'un vétérinaire, enseignant-chercheur et capacitaine du centre de soins de la faune sauvage, d'une vétérinaire, assistante hospitalière, d'une auxiliaire spécialisée vétérinaire, ainsi que d'étudiants vétérinaires et de volontaires en service civique.

Le centre prend en charge plus de 3000 animaux par an dont 72% d'oiseaux, 27% de mammifères et 1% de reptiles, amphibiens et invertébrés.

### II.A.2.2 Extraction de données à partir de la base de données du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT

#### II.A.2.2.1 Fonctionnement du centre de soins de l'ENVT

Lors de l'arrivée d'un animal, vivant ou mort, au centre de soins de l'ENVT, celui-ci est pris en charge par un soignant et un unique numéro lui est attribué : année en cours – numéro d'arrivée durant cette année (exemple : 22-2401 → cet animal est le 2401<sup>ème</sup> animal rentré depuis le début de l'année 2022).

Les informations données par le découvreur sont recueillies (son nom, le lieu et la date de la découverte, les événements qui auraient pu voir eu lieu, l'état de l'animal, les soins prodigués).

Les soignants réalisent un examen clinique d'entrée de chaque animal, pour déterminer l'espèce, le stade physiologique, le sexe si possible, le poids et le score corporel d'entrée, l'état général, les lésions, et finalement émettre des hypothèses diagnostiques et identifier si possible la cause d'admission (raison pour laquelle l'animal a été trouvé et collecté). Dans le cas où il y a le moindre doute sur la cause d'admission, celle-ci est classée en indéterminée. Ainsi un animal ayant percuté un véhicule sera classé en « choc véhicule » tandis qu'un animal trouvé en bord de route ne le sera pas forcément si il ne présente de lésions évidentes de traumatisme. L'hypothèse de la cause d'admission est émise à la fois à partir de l'anamnèse, des lésions, et de l'expérience du clinicien (Annexe 2).

Un plan thérapeutique est ensuite mis en place et l'animal est hébergé dans un environnement adapté à son statut et à son état (carton, volière, etc.). Des examens complémentaires peuvent être réalisés (radiographies, prélèvements buccaux avec tests bactériologiques, etc.) ainsi que des chirurgies dans certains cas.

Au terme de son séjour dans le centre de soins, l'animal doit être capable d'assurer l'ensemble des fonctions lui permettant de survivre dans son milieu naturel. L'hospitalisation constitue donc une étape critique de la prise en charge par les centres de soins. L'animal peut parfois décéder des suites de ses lésions. A tout moment du séjour de l'animal, une euthanasie peut être effectuée par le vétérinaire référent si l'état se dégrade ou si le pronostic fonctionnel est jugé mauvais. Dans le meilleur des cas, à la fin de l'hospitalisation, l'animal peut être réhabilité dans le milieu naturel.

### II.A.2.2.2 Base de données du centre de soins de l'ENVT

Pour chaque animal, des données sont enregistrées dans la base de données du centre sous la forme d'un fichier Excel (une ligne par animal). Différentes informations sont reprises dont le numéro de dossier, la date d'entrée et de sortie, l'espèce, l'âge, le sexe, le nom du découvreur, le lieu de la découverte, la cause d'entrée, le poids à l'entrée et à la sortie, le score corporel d'entrée, s'il y a eu radiographie, chirurgie, le devenir de l'animal (décès, euthanasie, relâché...), le lieu du relâché le cas échéant (Tableau 5).

Tableau 5 Présentation type de la base de données Excel du Centre de soins de l'ENVT

| Numéro           | Date entrée    | Espèce   | Age                            | Sexe            | Date découverte  | Nom découvreur         | Lieu découverte   | Cause entrée |          |
|------------------|----------------|--|--------------------------------|-----------------|------------------|------------------------|-------------------|--------------|----------|
| 20-2274          | 31/12/20       | Tourterelle turque   | juvénile (volant) non autonome | inconnu         | 30/12/20         | agullo                 | 31000 toulouse    | indéterminée |          |
| 20-2275          | 31/12/20       | Pigeon biset domestique  | indéterminé                    | inconnu         | 30/12/20         | goncalves sousa        | 31770 colomiers   | indéterminée |          |
| Poids entrée (g) | Score corporel | Diagnostic   | Radio                          | Chirurgie       | Poids sortie (g) | Date sortie            | Type sortie       | Lieu sortie  | Autopsie |
| 93               | 3              | malformation des 2 pattes + retrices retenues dans leur fourreau | non                            | non             | 81               | 01/01/21               | <b>Euthanasié</b> |              |          |
| 250              | 3              | trichomonose ou candidose sévère                                 | non                            | non             | 250              | 31/12/20               | <b>Euthanasié</b> |              |          |
| Remarque         | Durée hospit   | Classe   | Satut                          | Donnee complete | Tri              | SortieTri              |                   |              |          |
|                  | 1              | Oiseau   | Sauvage                        | oui             | 1                | Décès-euthanasié < 36h |                   |              |          |
|                  | 0              | Oiseau   | Sauvage                        | oui             | 1                | Décès-euthanasié < 36h |                   |              |          |

### II.A.2.2.3 Extraction des données

A partir du fichier Excel de base contenant les données de 10557 entrées toutes espèces confondues, une plage temporelle du 01/01/2016 (date de création du fichier Excel) au 03/01/2021 a été sélectionnée. L'année 2021 n'a pas été prise en compte car l'analyse des données s'est faite en 2021 et donc l'année n'était pas complète. Toutes les données extraites ont été laissées sous la forme du classeur initial.

Cela a permis d'extraire 7304 cas d'oiseaux répartis en 185 espèces différentes et 124 cas de chauves-souris, tous accueillis au centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT sur cette période.

#### II.A.2.2.3.1 Oiseaux

L'étude se porte sur les lésions traumatiques ainsi uniquement les cas avec une cause d'entrée traumatique avérée ont été gardés (Tableau 6).

Tableau 6 Catégorisation des causes d'entrée dans la base de donnée du Centre de soins de l'ENVT

|                | Indéterminée | Non traumatique   | Traumatique   |
|----------------|--------------|---|---|
| Cause d'entrée | Indéterminée | Abandon / échappé, Arrivée mort, Auto-piégeage, Capture / ramassage, Dénichage actif, évènement climatique, Inanition, Infection, Intoxication, Ramassage jeune, saisie | Choc véhicule, Choc objet fixe, Electrification, Prédation, Piégeage, Tir |

Il aurait été possible de prendre en compte les entrées d'origine « Indéterminée » cependant cela doublait le nombre de données initiales à traiter sachant que l'un des intérêts de l'utilisation des données de l'ENVT est qu'un diagnostic de certitude est plus facilement établi pour un traumatisme. En effet parmi les cas extraits, 30,6% des entrées sont d'origine indéterminée (n=2232), 38,3% sont d'origine non traumatique (n=2800) et 31,1% d'origine traumatique (n=2272).

#### II.A.2.2.3.2 Chiroptères

Comme pour les oiseaux, uniquement les causes traumatiques ont été gardées, cela représente 45 cas.

### II.A.3 Tri et mise en forme

#### II.A.3.1 Données Epifaune

Une première étape de retrait des doublons du fichier a été effectuée ce qui a permis de garder 531 évènements soit 812 échantillons, *Aves* et *Chiroptera* confondus.

Le début de la mise en forme du fichier se fait en gardant les trois onglets évènements, échantillons et résultats.

##### II.A.3.1.1 Onglet évènement

Parmi les colonnes présentes (Annexe 7) les colonnes suivantes sont conservées : Evènement, espèce, commune, département, région, contexte, type, famille, ordre, classe.

Certaines colonnes sont en effet incomplètes et ne servent pas directement le propos de l'étude. La figure ci-dessous révèle que dans 72% des cas aucune information n'est précisée sur le contexte environnemental autour de la zone de découverte.

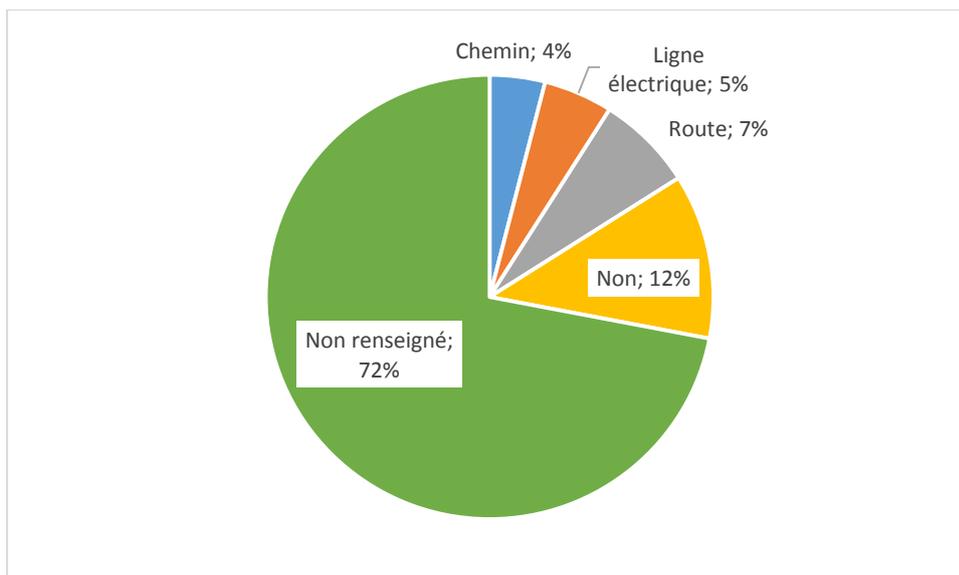


Figure 5 Graphique montrant la proportion de chaque type de structure à proximité du lieu de collecte d'un événement SAGIR

L'étude de la distribution des cas selon les espèces d'oiseau montre que parmi les 185 espèces présentes dans le jeu de données seulement quelques-unes ont des effectifs de taille suffisante pour être exploitées. Deux espèces représentent près d'un quart de de l'effectif et seulement six espèces ont un effectif supérieur à vingt événements (Figure 6).

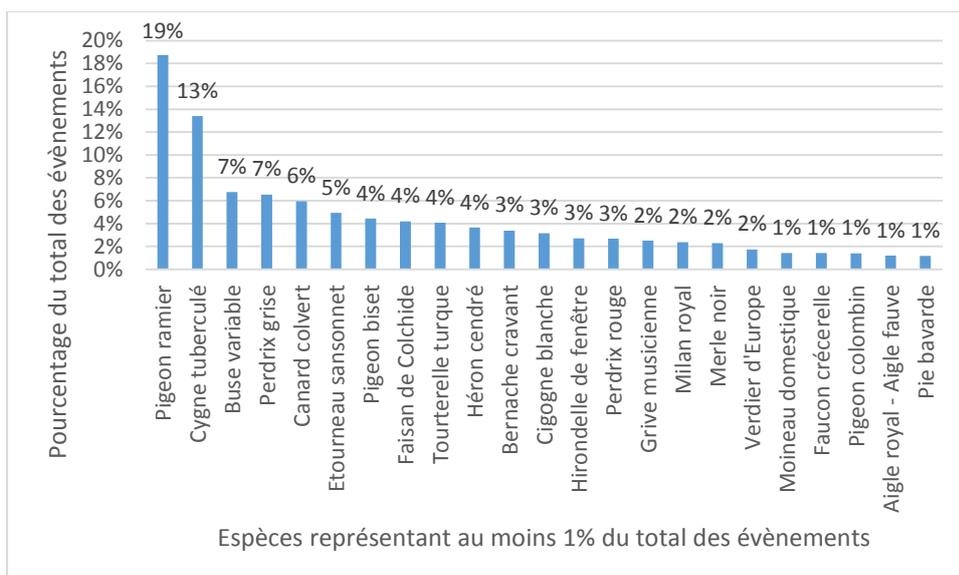


Figure 6 Proportion du nombre d'évènements par espèces (Aves)

Un regroupement en fonction des ordres permet d'obtenir des groupes de tailles plus intéressantes car certaines espèces ou familles sont quantitativement peu représentées. De plus le regroupement par ordre peut s'expliquer par des similarités dans le comportement.

Afin d'avoir des groupes encore plus homogènes en taille, la suppression des ordres avec moins de 25 événements a été effectuée. Les ordres gardés sont : *Passériformes*, *Falconiformes*, *Colombiformes*, *Ansériformes*, *Ciconiiformes* et *Galliformes*.

#### *II.A.3.1.2 Onglet échantillon*

Les colonnes conservées sont les suivantes ; N°événement, N°échantillon, espèce, état du cadavre. Ce feuillet apparaît comme celui le moins informatif. Le regroupement en ordre de plus de 25 évènements est aussi répercuté dans cette page.

#### *II.A.3.1.3 Onglet résultat*

Les colonnes conservées sont les suivantes ; N°événement, N°échantillon, espèce, Plan analyse, matrice, catégorie d'analyte, analyte, résultats qualitatifs, commentaire. Le regroupement en ordre de plus de 25 évènements est aussi répercuté dans cette page.

#### *II.A.3.1.4 Simplification et regroupement des termes à partir de l'onglet résultat*

La suite du tri est une succession d'étapes afin de regrouper les données pour avoir les bases la plus facilement exploitables avec des analytes et matrices généraux, et en effectif suffisants et représentatifs.

Tous les échantillons (échelle de l'individu) qui présentent dans le plan toxicologie des substances pouvant causer des hémorragies sont supprimés. Tous les échantillons avec de analytes de catégories « mécanique et traumatique » incompatibles avec un traumatisme sont supprimés au cas par cas (sténose, occlusion par exemple).

Un regroupement des analytes « congestif/hémorragique » de la catégorie « inflammatoire » avec la catégorie « vasculaire » est effectuée sous le terme analyte « hémorragie ».

Les résultats qualitatifs, hématome/suffusion/pétéchie, des analytes sont regroupés sous le terme « collection sanguine ».

Une colonne est rajoutée afin de préciser les matrices dans les catégories « mécanique et traumatique » et « vasculaire » ; le vocabulaire suivant est utilisé, au cas par cas, pour plus de précision quand cela s'y prête : humérus, radius, poignet, épaule, coude, tibiotarse, patte, tibia, fémur, bréchet, clavicule, coracoïde, patte, aile, cervicale, thorax, abdomen. Sur la base de la colonne « commentaire », qui correspond à un champ libre, recherche des cas avec lésions post mortem grâce à une recherche des termes « post » et « mortem » et analyse au cas par cas afin de le garder ou les exclure.

A partir de la colonne « commentaire » qui est un champ libre de rédaction pouvant apporter des informations complémentaires sur les cas, une recherche de lésions post-mortem est effectuée. Les termes « post » et « mortem » sont recherchés et une analyse au cas par cas est réalisée afin de garder ou exclure les individus concernés.

Le nombre de matrice étant très grand, elles ont été regroupées en huit catégories : tête, cou, ceinture scapulaire, aile, thorax, abdomen, patte, ceinture pelvienne :

- Tête : Tête, crâne, œil, cérébral, Bec, cavité buccale, oreille interne
- Cou : cou, colonne cervicale
- Ceinture scapulaire : clavicule, coracoïde, scapula
- Aile : aile, humérus, radius, carpe, métacarpe
- Thorax : colonne thoracique, cote, bréchet, pectoral, dos, dorsal, respiratoire, cœur,

- Abdomen : rénal, uro-génital, tube digestif, cavité abdominal et péritonéale, colonne lombaire, abdominal, ventre, rate
- Patte : fémur, tibia, tarse, métatarse, patte, cuisse
- Ceinture pelvienne : Hanche, sacrum, bassin

#### II.A.3.1.5 Tri des données essentielles

La grande étape suivante consiste à garder uniquement les plans d'analyse, les catégories d'analytes et les analytes d'intérêt.

La multitude des plans d'analyse apporte de nombreuses données supplémentaires mais pas tous nécessaires à l'étude. Ainsi seulement trois plans d'analyse sont retenus : radio, autopsie et histologique. Ce sont ceux dont les analytes permettent de décrire des lésions dans un contexte de traumatisme.

De même uniquement les catégories d'analytes qui semblent compatibles avec des lésions traumatiques sont gardés : inflammatoire, mécanique et traumatique, lésion, vasculaire. Les autres analytes sont supprimés. Finalement un tri et un regroupement des analytes sont effectués (Annexe 3).

Ainsi à ce stade du tri, il y a huit matrices et neuf analytes. Sur les 72 possibilités différentes de couples matrice/analyte il en existe 43 pour la classe *Aves* et 16 pour la classe *Chiroptera* (Annexe 4 et Annexe 5).

Certains termes sont encore supprimés (par exemple : retrait de « nécrosant » car traduit une certaine chronicité, retrait de « congestion » car lésion trop peu spécifique). Les échantillons avec comme analyte hémorragie et plaie, sont au cas par cas regroupés sous l'analyte plaie, dans le cas donc où l'hémorragie provient de la plaie. De même pour les analytes plaie et fracture, dès lors que la plaie provient de la fracture, un unique analyte fracture est gardé. Etant donné que les oiseaux ne possèdent pas de diaphragme, un regroupement des matrices thorax et abdomen en cavité coelomique est effectué. Les termes œdème et épanchement sont finalement associés sous le terme œdème car après une analyse au cas par cas, aucune distinction évidente n'a été relevée. Les ruptures faisant référence à des ruptures cutanées sont regroupées avec l'analyte plaie.

Finalement les couples avec moins de dix occurrences sont retirés. Cela donne le jeu de données suivant pour les oiseaux : 6 ordres, 11 couples matrices lésions différents (Annexe 6), 452 individus, 650 lésions.

Concernant les espèces, il faut noter que dans Epifaune, les *Falconiformes* comprennent les *Accipitridae* et *Falconidae*.

#### II.A.3.1.6 Mise sous la forme de matrice exploitable dans le logiciel R

Afin de rendre le fichier de données exploitable dans le logiciel R l'aspect d'origine du fichier (Annexe 7), doit être modifié. Uniquement l'onglet résultats est gardé, il est alors constitué de n événements contenant i échantillons ayant eux-mêmes x lignes matrice/analyte. Le fichier est alors résumé en une unique ligne par individu donc par échantillon, avec une colonne numéro d'échantillon, une colonne ordre et onze colonnes matrice/analyte. Ainsi, un échantillon est décrit par son numéro, son ordre et ses lésions. Pour chaque présence de lésion un « 1 » est mis dans la case, un « 0 » en cas d'absence (Annexe 8).

## II.A.3.2 Données du centre de soins de l'ENVT

Une fois l'extraction réalisée, le tri ne concerne que la classe des oiseaux car les chiroptères seront analysés au cas par cas, leurs données auront juste une mise en forme compatible avec le logiciel R.

### II.A.3.2.1 Choix des ordres et échantillonnage

Les 2266 cas extraits sont répartis en 15 ordres avec 6 à 872 individus. Certaines causes d'entrée sont très peu représentées (électrisation ou piégeage), tandis que la prédation représente plus de la moitié des entrées. Les chocs avec les véhicules et avec les structures comptent pour plus de 40% (Annexe 9).

Une sélection parmi les ordres est effectuée : ceux avec moins de 100 entrées sont écartés. Les quatre ordres gardés sont donc les *Passériformes*, les *Columbiformes*, les *Strigiformes* (rapaces nocturnes) et les *Accipitriformes* (rapaces diurnes).

Pour chaque ordre et chaque cause d'entrée traumatique (choc objet fixe, choc véhicule, électrisation, piégeage, prédation, tir), est sélectionné un échantillon aléatoire de 30 (si possible) individus. Cela permet en théorie d'avoir 120 entrées par ordre et par cause. L'objectif est aussi de comparer les diagnostics radiographiques, s'il y en a, avec les informations de la colonne en champ libre « diagnostic » (Tableau 5). L'ensemble des individus sélectionnés est vérifié au cas par cas, toute erreur de remplissage ou imprécision pouvant compromettre la qualité de l'analyse. Cela permet d'avoir un échantillon de 375 cas (Tableau 7).

Tableau 7 Répartition du nombre de cas en fonction de l'ordre et de la cause d'entrée après l'échantillonnage des données du centre de soin de l'ENVT

| <b>Radiographie</b>        | <b>Choc objet fixe</b> | <b>Choc véhicule</b> | <b>Électrisation</b> | <b>Piégeage</b> | <b>Prédation</b> | <b>Tir</b> | <b>Total général</b> |
|----------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|------------------|------------|----------------------|
| <b>Non</b>                 | 58                     | 64                   | 6                    | 6               | 69               | 11         | 214                  |
| <b>Oui</b>                 | 47                     | 55                   | 6                    | 3               | 11               | 39         | 161                  |
| <b>Total général</b>       | 105                    | 119                  | 12                   | 9               | 80               | 50         | 375                  |
| <b>Proportion du total</b> | 28%                    | 31,7%                | 3,2%                 | 2,4%            | 21,3%            | 13,3%      |                      |

### II.A.3.2.2 Création d'une base de données sur le modèle Epifaune avec l'implémentation de couple matrice/analyte

Un tableau Excel est créé avec plusieurs colonnes : N° de dossier, espèce, ordre, cause d'entrée, matrice1, matrice2, analyte1, analyte2, diagnostic. Pour chaque cas, une lecture de la colonne en champ libre « diagnostic » et quand il y en a des radiographies permet d'apporter plus de précisions. Les catégories matrice1 et analyte1 sont des versions simplifiées de termes avec sept possibilités de matrice1 (tête, cou, ceinture scapulaire (c sca), aile, cavité coelomique, ceinture pelvienne, patte) et des analytes simples (fracture, plaie, rupture, hémorragie, œdème). En matrice2 et analyte2 le segment et la lésion sont plus précisément décrits (Tableau 8).

Tableau 8 Exemple de description d'une lésion selon le système de couple matrice analyte

| <b>Matrice1</b> | <b>Analyte1</b> | <b>Matrice2</b>          | <b>Analyte2</b>         |
|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|
| Aile            | Fracture        | Humérus/épiphyse distale | Fracture/oblique/simple |

Les couples matrice1/analyte1 avec moins de 10 occurrences sont écartés, ce qui donne 8 couples matrices lésions répartis sur 316 cas (Annexe 10).

#### II.A.3.2.3 Mise sous la forme de matrice exploitable dans le logiciel R

Comme pour les données Epifaune, la même transformation est effectuée afin de rendre le fichier de données exploitable dans le logiciel R (Annexe 11).

### II.A.4 Méthodes d'analyses des données

#### II.A.4.1 L'analyse des correspondances multiples (ACM)

Les ACM ont été effectuées en utilisant le logiciel RStudio, à l'aide du package FactoMineR. Les variables analysées sont les n couples matrice/lésion (valeur prise « Y » pour 1 ou « N » pour 0) de chaque base de données ainsi que la variable ordre et pour la base de l'ENVT une variable cause d'entrée. Toutes les variables sont qualitatives.

L'ACM permet d'avoir une démarche exploratoire, afin de mettre en évidence des associations ou des oppositions entre les différentes variables. On cherche à voir s'il y a une structure dans les données, indépendamment des causes de mort présumées et des groupes d'espèces dans un premier temps. Puis nous essayons de discriminer les résultats selon les ordres et les traumatismes.

#### II.A.4.2 Test statistique du Khi-deux et exact de Fisher

Les associations mise en évidences grâce à l'ACM ont été testées avec un test du khi-deux ou exact de Fisher lorsqu'il y avait moins de six occurrences sur le logiciel RStudio. La p-value ou valeur-p renvoyée par le test est utilisée pour quantifier la significativité statistique d'un résultat dans le cadre d'une hypothèse nulle ( $H_0$ ) avec  $H_0 =$  « indépendance des variables ». Deux degrés différents ont été choisis pour décrire le niveau de rejet de l'hypothèse :

- p-value ( $p$ )  $\leq 0,01$  : très forte présomption contre l'hypothèse nulle
- $0,01 < p \leq 0,05$  : forte présomption contre l'hypothèse nulle

En conclusion, si la p-value est inférieure à 0,05, l'hypothèse d'indépendance des deux variables est rejetée et une association entre les deux variables est donc présente.

#### II.A.4.3 Classification des résultats

Les analyses ACM ont été faites en enlevant au fur et à mesure les variables extrêmes, c'est-à-dire les variables les mieux ou les moins bien représentées par l'analyse. Tout d'abord uniquement avec les variables matrice/analyte puis en introduisant la variable ordre et finalement en introduisant la cause traumatique pour les données issues du centre de soins de l'ENVT. Pour chaque association trouvée, un test exact de Fisher ou du khi-deux est réalisé. Les associations relevées sont classées en fonction de leur p-value, non significative ( $p > 0,05$ ), significative ( $0,01 < p \leq 0,05$ ), très significatif ( $p \leq 0,01$ ).

#### II.A.4.4 Méthode de « clustering »

Finalement une analyse de cluster est réalisée avec le logiciel RStudio, à l'aide du package factoextra. Cela permet d'avoir un regroupement par patterns de groupes d'individus sur un graphique. Cette analyse est faite à titre indicatif afin d'étudier des individus dans un cluster et voir si des résultats similaires à ceux de l'analyse ACM sont trouvés.

## II.B Résultats d'analyses de la classe Aves

### II.B.1 Analyse descriptive des données initiales

#### II.B.1.1 Base de données Epifaune

Pour rappel, la base de données créée à partir d'Epifaune présente 452 individus et 650 lésions décrits par 6 ordres et 11 couples matrice-lésion soit 1,4 lésions/cas en moyenne par individu. La répartition des ordres est hétérogène en et se découpe en trois groupes. Ainsi les Ansériformes sont environ 2,8 fois plus représentés que les Ciconiiformes (Figure 7).

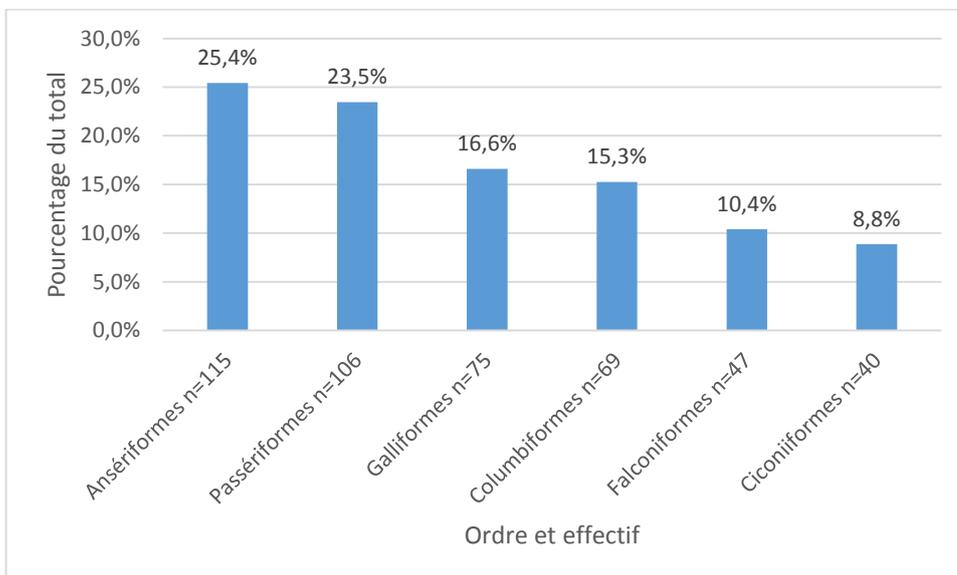


Figure 7 Répartition des ordres de la classe Aves dans le fichier trié des données Epifaune

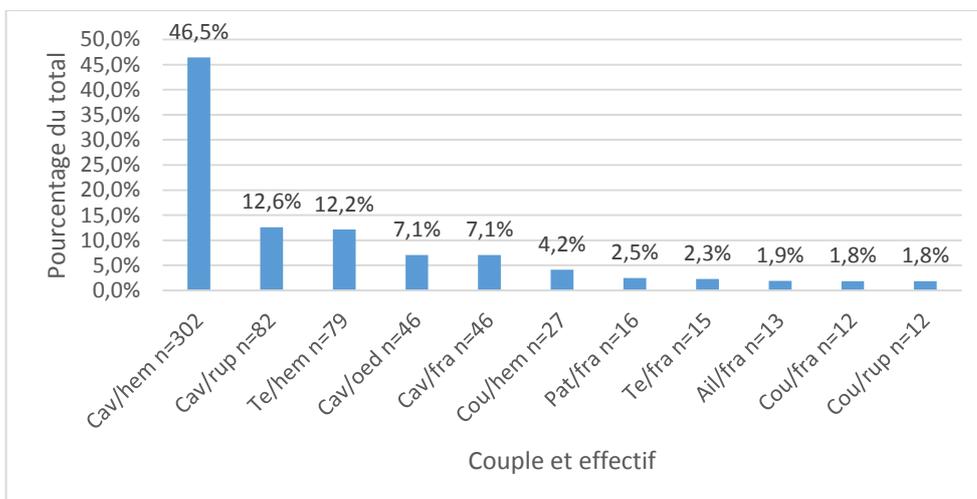


Figure 8 Répartition des lésions selon les 11 couples matrice/analyte dans la base Epifaune

Le couple, « cav/hem » (cavité cœlomique/hémorragie) représente près de la moitié des lésions (Figure 8). Chez les *Passériformes* cela représente même plus de 50% des couples lésionnels mais on ne retrouve chez eux que 6 types de couples différents sur les 11. La répartition des couples matrice/lésion parmi les ordres est hétérogène. Par exemple, « te/hem » représente 33% des lésions des *Passériformes* contre 12,1% en moyenne (Tableau 9). L'analyse ACM va permettre une représentation graphique de ce tableau de contingence.

Tableau 9 Tableau de contingence des données Epifaune après le tri présentant la proportion de chaque couple matrice/analyte au sein des six ordres, abréviation des ordres dans la liste des abréviations en début de manuscrit.

| Couple/Ordre   | Ans           | Cico          | Col           | Falc          | Gall          | Pass          | Distribution générale |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|
| <b>Cav/hem</b> | 43%<br>(n=79) | 46%<br>(n=26) | 48%<br>(n=46) | 44%<br>(n=31) | 44%<br>(n=52) | 53%<br>(n=68) | 46% (n=302)           |
| <b>Cav/rup</b> | 14%<br>(n=26) | 12% (n=7)     | 12%<br>(n=11) | 8% (n=6)      | 19%<br>(n=22) | 8% (n=10)     | 13% (n=82)            |
| <b>Te/hem</b>  | 3%<br>(n=5)   | 4% (n=2)      | 13%<br>(n=12) | 14%<br>(n=10) | 7% (n=8)      | 33%<br>(n=42) | 12% (n=79)            |
| <b>Cav/fra</b> | 12%<br>(n=21) | 16% (n=9)     | 2% (n=2)      | 6% (n=4)      | 8% (n=10)     | 0% (n=0)      | 7% (n=46)             |
| <b>Cav/oed</b> | 10%<br>(n=18) | 7% (n=4)      | 8% (n=8)      | 7% (n=5)      | 6% (n=7)      | 3% (n=4)      | 7% (n=46)             |
| <b>Cou/hem</b> | 7%<br>(n=12)  | 5% (n=3)      | 7% (n=7)      | 0% (n=0)      | 3% (n=4)      | 1% (n=1)      | 4% (n=27)             |
| <b>Pat/fra</b> | 1%<br>(n=1)   | 3% (n=2)      | 3% (n=3)      | 8% (n=6)      | 3% (n=4)      | 0% (n=0)      | 3% (n=16)             |
| <b>Te/fra</b>  | 2%<br>(n=4)   | 2% (n=1)      | 3% (n=3)      | 6% (n=4)      | 2% (n=2)      | 1% (n=1)      | 2% (n=15)             |
| <b>Ail/fra</b> | 2%<br>(n=4)   | 3% (n=2)      | 2% (n=2)      | 4% (n=3)      | 2% (n=2)      | 0% (n=0)      | 2% (n=13)             |
| <b>Cou/fra</b> | 3%<br>(n=5)   | 2% (n=1)      | 0% (n=0)      | 3% (n=2)      | 3% (n=3)      | 1% (n=1)      | 2% (n=12)             |
| <b>Cou/rup</b> | 3%<br>(n=6)   | 0% (n=0)      | 2% (n=2)      | 0% (n=0)      | 3% (n=4)      | 0% (n=0)      | 2% (n=12)             |
| <b>Total</b>   | <b>181</b>    | <b>57</b>     | <b>96</b>     | <b>71</b>     | <b>118</b>    | <b>127</b>    | <b>650</b>            |

### II.B.1.2 Description de la base de données triées du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT

La base finale pour les analyses condense donc 316 individus et 357 lésions, répartis en 4 ordres et décrits par 8 couples lésionnels différents soit en moyenne 1,1 lésions/cas. Parmi les cas, 87,4% ne présentent qu'une unique lésion, 11,3% deux lésions et 1,3% au moins trois lésions. Le couple aile/fracture (Ail/fra) est clairement le plus fréquent avec 37.8% des cas de lésions rapportées (Figure 9).

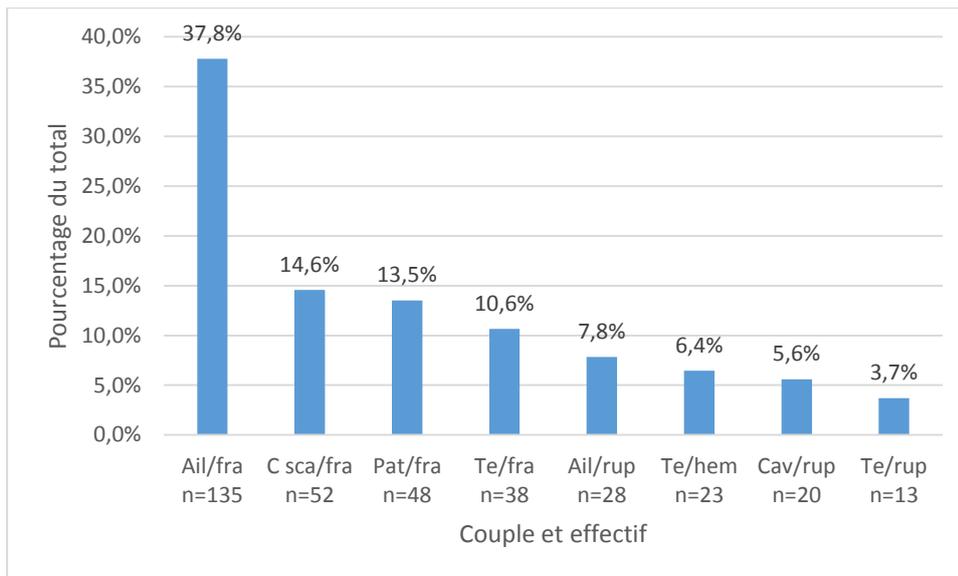


Figure 9 Répartition des couples lésionnels dans le fichier des données triées du centre de soins de l'ENVT

La répartition des cas selon les quatre ordres est presque équivalente avec toutefois les *Strigiformes* qui sont légèrement sous représentés. En effet dans la situation théorique, avec un échantillon équilibré entre chaque ordre, nous devrions avoir 25% pour chaque ordre (Figure 10). Bien que les données proviennent d'une plage de temps importante, 2016 à 2020, cela semble mettre en lumière que certaines causes d'entrée sont peut-être plus fréquentes chez certains ordres. Par exemple, peu de *Strigiformes* sont concernés par la prédation, ou encore 80% des cas d'électrisation concernent des *Accipitriformes*.

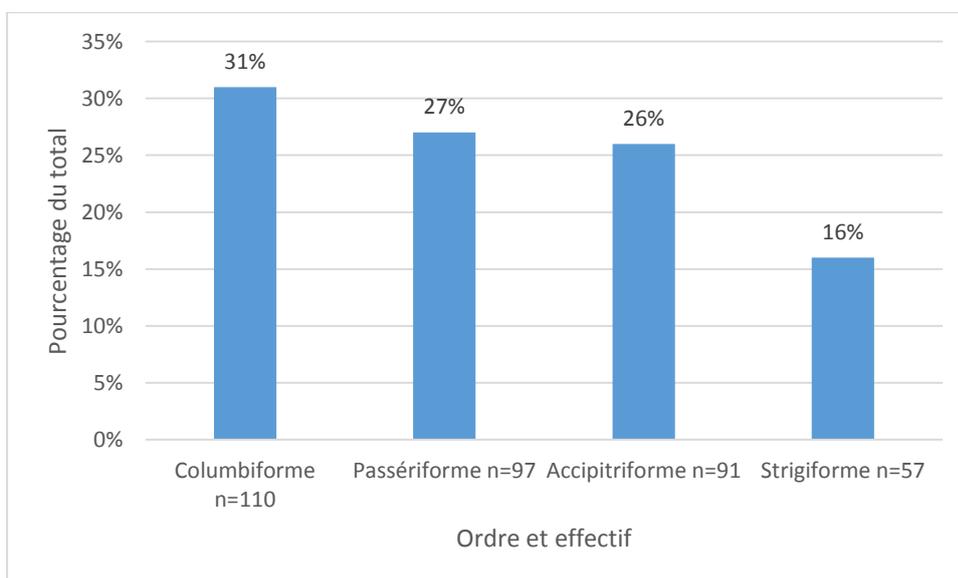


Figure 10 Répartition du nombre de cas parmi les ordres dans le fichier de données triées du centre de soins de l'ENVT

Les causes d'entrée, piégeage et électrisation sont nettement sous représentées par rapport aux autres. Leurs données devront être étudiées avec précaution. Les chocs véhicules constituent la cause majoritaire de traumatismes chez les *Strigiformes* de l'échantillon (55%). L'ensemble des ordres a au moins 23% de collisions avec des structures et au moins 26% de traumatismes routiers, ces 2 causes représentent plus de 53% de l'ensemble des causes traumatiques de chaque ordre. La prédation est impliquée dans 27% à 31% des traumatismes

chez les *Columbiformes* et les *Passériformes* tandis que cela ne représente que 6 à 11% des cas pour les rapaces (Tableau 10).

Tableau 10 Tableau de contingence des données de l'ENVT après le tri présentant la proportion de chaque cause d'entrée au sein de chaque ordre

| Cause d'entrée       | Accipitriformes | Columbiformes | Passeriformes | Strigiformes | Total général |
|----------------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Choc objet fixe      | 23%             | 27%           | 30%           | 28%          | 84            |
| Choc véhicule        | 34%             | 26%           | 33%           | 55%          | 110           |
| Electrocution        | 9%              | 1%            | 0%            | 2%           | 10            |
| Piégeage             | 1%              | 0%            | 1%            | 4%           | 4             |
| Prédation            | 6%              | 27%           | 31%           | 11%          | 62            |
| Tir                  | 27%             | 19%           | 5%            | 0%           | 46            |
| <b>Total général</b> | <b>100%</b>     | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>  | <b>316</b>    |

La fracture de l'aile est la lésion la plus fréquente pour tous les ordres et est majoritaire (51,5%) au sein des *Accipitriformes* (Tableau 11).

Tableau 11 Tableau de contingence des données de l'ENVT après le tri présentant la proportion de chaque couple matrice/analyte au sein de chaque ordre

| Couple matrice/analyte | Accipitriformes | Columbiformes | Passeriformes | Strigiformes | Total général |
|------------------------|-----------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Cav/rup                | 3,1%            | 10,2%         | 6,6%          | 0,0%         | 20            |
| Te/rup                 | 4,1%            | 6,5%          | 2,2%          | 0,0%         | 13            |
| Te/hem                 | 5,2%            | 0,9%          | 5,5%          | 19,7%        | 23            |
| Te/fra                 | 6,2%            | 11,1%         | 14,3%         | 11,5%        | 38            |
| Ail/fra                | 51,5%           | 36,1%         | 25,3%         | 37,7%        | 135           |
| Ail/rup                | 12,4%           | 4,6%          | 7,7%          | 6,6%         | 28            |
| C sca/fra              | 8,2%            | 17,6%         | 18,7%         | 13,1%        | 52            |
| Pat/fra                | 9,3%            | 13,0%         | 19,8%         | 11,5%        | 48            |
| <b>Total général</b>   | <b>100%</b>     | <b>100%</b>   | <b>100%</b>   | <b>100%</b>  | <b>357</b>    |

## II.B.2 ACM avec l'ensemble des couples lésionnels

Cette ACM se contente d'analyser des liens entre couples lésionnels uniquement afin de faire émerger des patterns lésionnels. Comme expliqué précédemment, progressivement des variables extrêmes ou non significatives dans la caractérisation des dimensions de l'analyse ACM seront écartées ou ajoutées afin de balayer un maximum de possibilités d'associations. L'ensemble des résultats collectés pour chaque analyse est synthétisé dans un tableau.

## II.B.2.1 Analyse des données Epifaune

### II.B.2.1.1 ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte

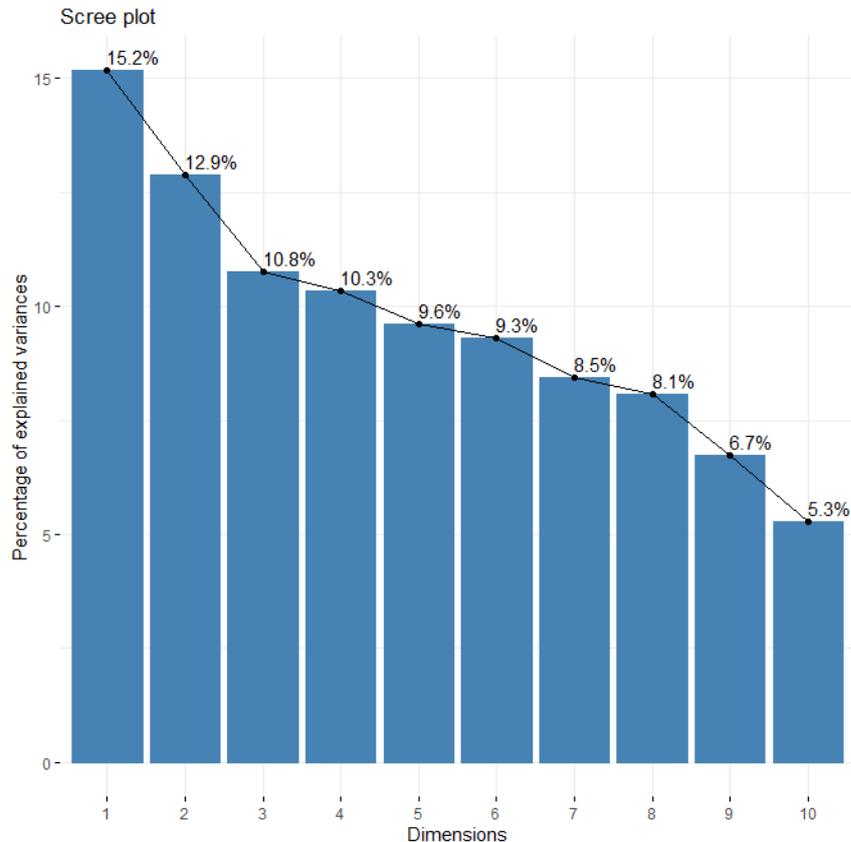


Figure 11 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données Epifaune avec uniquement les variables de couple lésionnel

Le graphique de l'inertie montre un bon décrochage entre les dimensions 1 et 2 et la 3<sup>ème</sup> et que 28,1% de variabilité est cumulée avec les dimensions 1 et 2 (Figure 11). Nous analyserons donc les deux premières dimensions.

Graphiquement, chaque variable présente deux modalités, « Yes » notée « \_Y » et « No » notée « \_No ». Cela fait référence au tableau de contingence créé dans le logiciel R, « Yes » signifie la présence et « No » l'absence d'une variable. Par soucis de compréhension, dans la suite de l'analyse, les modalités « \_Y » seront écrites sans « \_Y », uniquement celles « \_NO » auront « NO » à la suite du couple.

L'étude de la contribution révèle le poids de chaque modalité dans la variabilité d'une dimension. Nous travaillerons à chaque fois sur deux dimensions conjointement.

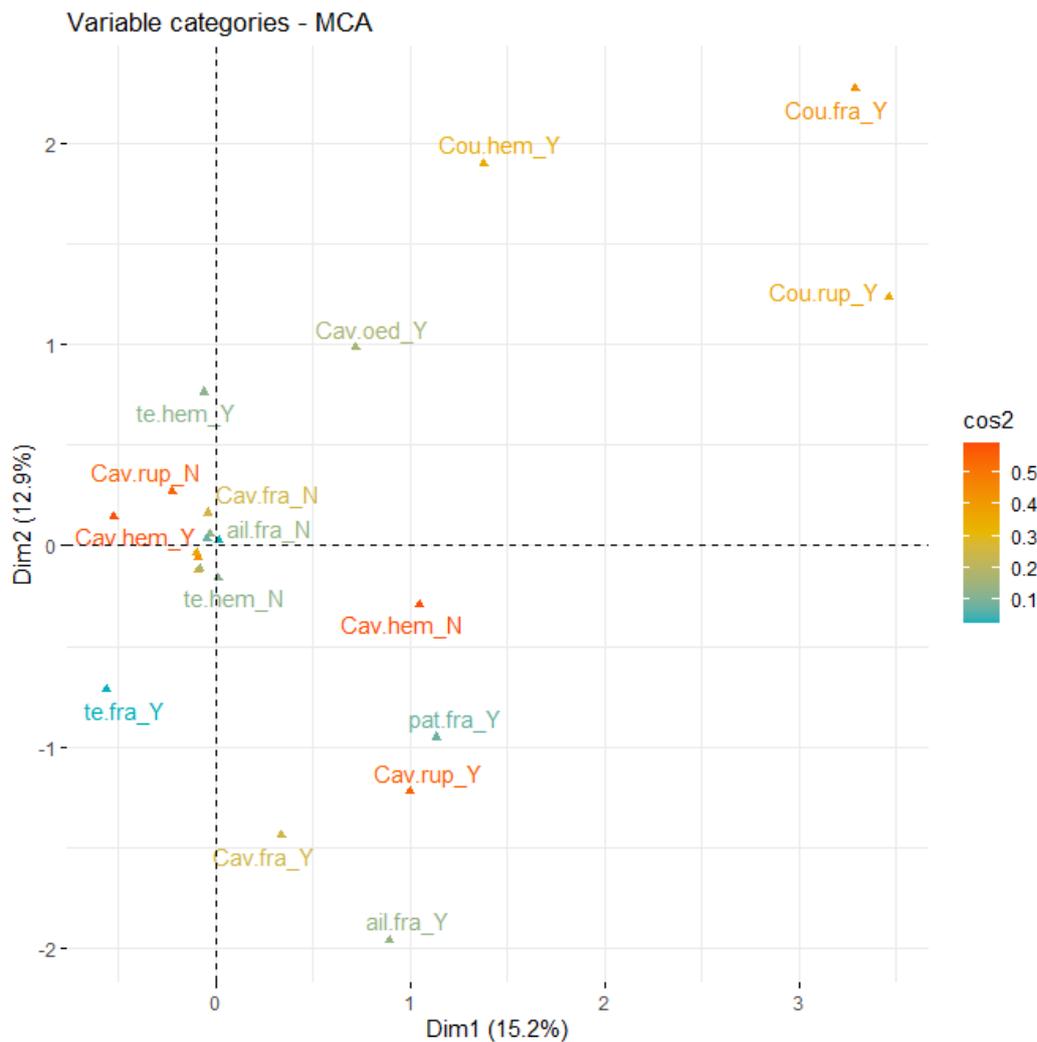


Figure 12 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels extraits et triés d'Epifaune

La qualité de représentation, appelée cosinus carré ( $\text{Cos}^2$ ), mesure le degré d'association entre les modalités des variables et les dimensions. Si une modalité d'une variable donnée est bien représentée par deux dimensions, la somme des  $\text{Cos}^2$  est proche de 1. Ainsi les modalités les mieux représentées dans l'analyse des dimensions 1 et 2 sont : Cav/hem et Cav/hemNO, Cav/rup et Cav/rupNO. Nous pouvons en déduire par lecture graphique des associations ; Cav/rup et Cav/hemNO, Cav/hem et Cav/rupNO, Cou/fra et Cou/rup, Cou/fra et Cou/hem, Cou/rup et Cou/hem. Parmi les associations relevées, quatre sont très significatives, Cav/hem et Cav/rupNO et leur inverse, Cou/hem et Cou/fra, Cou/rup et Cou/fra ; une est significative, Cav/fra et Cav/rup ; les autres ont des p-value supérieures à 0,05.

#### II.B.2.1.2 ACM avec retrait successif des modalités et variables extrêmes

Les modalités et variables avec des valeurs extrêmes ne permettent pas de valoriser suffisamment l'analyse graphique de l'ACM, ainsi elles sont successivement retirées une à une ou de manière groupée de l'analyse afin d'affiner la recherche de corrélations entre modalités.

D'après ces résultats nous pouvons nous permettre de refaire l'analyse sans la variable Cou/fra. En effet sur les 12 individus concernés par ce couple, uniquement 2 ont cet unique couple comme description lésionnelle. Ainsi, trois associations significatives sont trouvées dont

un doublon avec l'analyse précédente et une association vérifiée dans les deux sens : Cav/hem et Cav/rupNO et inversement (Annexe 12).

La variable Cav/hem, qui est la variable la plus fréquente, polarise le jeu de données et est retirée par la suite. Le couple le mieux représenté est Cou/fra. Une nouvelle association est trouvée, Cou/hem et Te/hem, mais elle est non significative les autres sont des associations de couples déjà connues (Annexe 13).

Etant donné que les variables Cou/rup et Cou/fra sont significativement liées, Cou/fra est retirée en plus de la variable Cav/hem dans l'analyse suivante. Les couples les mieux représentés sont alors Cav/rup et Cav/oed. Quatre nouvelles associations dont deux significatives apparaissent : Cav/fra et Te/hemNO ainsi que Cav/rup et Te/hemNO (Annexe 14).

Les variables Cav/rup et Cav/fra sont liées, ainsi nous avons retiré Cav/rup pour la dernière analyse. Il n'y a aucune modalité de variable qui ait un  $\text{Cos}^2$  supérieur à 0,5 ( $\text{Cos}^2$  de Cav/oed et Cou/hem supérieurs à 0,45). Deux nouvelles associations sont identifiées, Pat/fra et Ail/fra ainsi que Cav/fra et Cav/oedNO mais aucune n'est significative (Annexe 15).

#### *II.B.2.1.3 ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes*

A la différence des analyses précédentes l'objectif est de retirer à la fois les variables mais aussi les individus ayant la modalité « \_Y » dans leur descriptif lésionnel. Nous avons donc retiré 302 individus : ce sont ceux décrit par Cav/hem\_Y qui correspond à la modalité quantitativement la plus importante. Une seule nouvelle association est relevée, Cou/hem et Cav/rupNO, et elle est significative. Les variables Te/hem et Cou/hem bien qu'elles aient une association en commun ne sont pas liées entre elles (Annexe 16).

Les cas avec les modalités Cou/rup\_Y et Cou/fra\_Y sont exclus en plus car ils sont bien représentés et tirent l'analyse dans le même sens. Une unique nouvelle association est notée, Pat/fra et Te/fra (Annexe 17).

La modalité Cav/oed\_Y est assez bien représentée seule dans la seconde dimension ; les cas avec la modalité Cav/oed\_Y sont donc retirés. Parmi toutes les associations notées, une seule nouvelle apparaît : Cou/rup et Cav/rup, et il s'avère qu'elle est significative avec une p-value juste inférieure à 0,05. C'est la dernière analyse qui apporte de nouvelles associations (Annexe 18).

#### *II.B.2.2 Analyse des données du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT*

La même démarche est effectuée avec les données du centre de soins de l'ENVT pour la réalisation des analyses.

### II.B.2.2.1 ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte

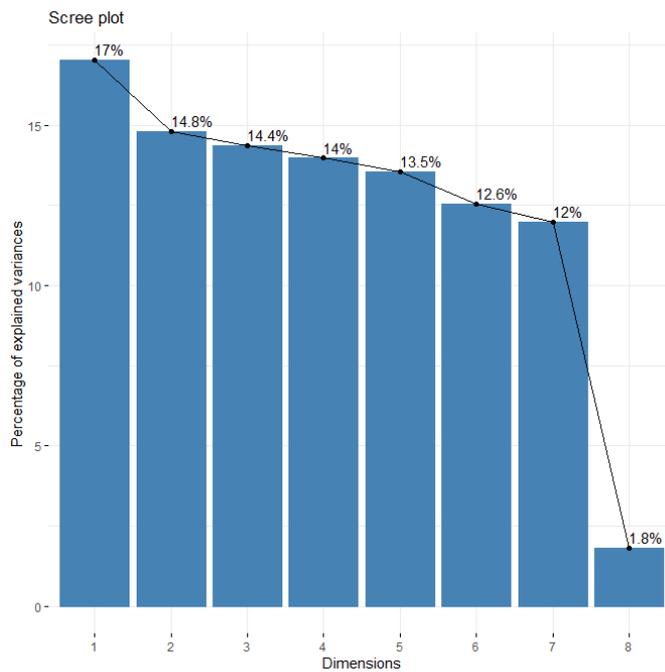


Figure 13 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données de l'ENVT avec toutes les variables de couple lésionnel

Il y a un bon décrochage dès la première dimension avec une inertie de 31,8% sur les deux premières ce qui est suffisant pour l'analyse

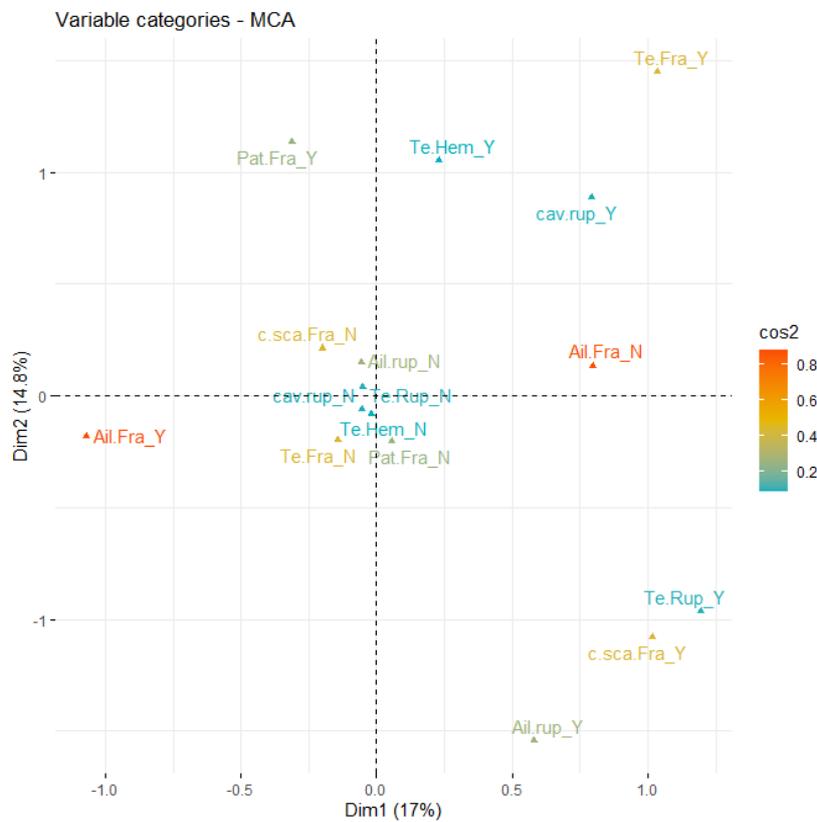


Figure 14 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels de la base données de l'ENVT

Lors de l'analyse des  $\text{Cos}^2$  sur les deux premières dimensions, un couple se distingue avec une qualité de représentation supérieure : Ail/fra. Les associations gardées par lecture graphique sont : Pat/fra et Te/fra, Te/fra et Ail/fraNO, Ail/fraNO et Sca/fra, Te/hem et Ail/fraNO, Sca/fraNO et Ail/fra. Ce sont cinq associations de couples qui sont gardés. Parmi elles deux sont significatives dont une très significative, Te/fra et Ail/fraNO.

#### *II.B.2.2.2 ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes*

Dorénavant le retrait d'une variable est accompagné de celui des individus concernés car dans l'analyse des données Epifaune cela s'est montré plus intéressant dans la mise en évidence d'associations.

La variable Ail/fra qui a le meilleur  $\text{Cos}^2$  est d'abord exclue de l'analyse ; c'est aussi la variable la plus présente à l'instar de Cav/hem dans la base de données Epifaune. La variable la mieux représentée est alors Sca/fra. Les associations gardées par lecture graphique sont : Te/fra et Pat/fra, Pat/fra et Sca/fraNO, Ail/rup et Te/fraNO. Quatre nouvelles associations sont trouvées, dont une très significative, Pat/fra et Sca/fraNO (Annexe 19).

La variable Sca/fra, ayant le  $\text{Cos}^2$  le plus important, est ensuite exclue de l'analyse. Les variables Pat/fra et Te/fra sont alors les mieux représentées. Quelques associations sont relevées par lecture graphique : Pat/fra et Te/fraNO, Ail/rup et Te/fraNO, Ail/rup et Pat/fraNO. Une seule est nouvelle et significative, Ail/rup et Pat/fraNO (Annexe 20).

La variable Pat/fra est ensuite exclue de l'analyse car elle la polarise. Les deux variables les mieux représentées sont alors : Te/fra et Ail/rup. La lecture ne permet pas de garder des associations significatives (Annexe 21).

Afin de faire l'analyse la plus complète possible, nous sommes enfin repartis de la première analyse de la catégorie et avons exclus les individus avec les variables Ail/fra et Te/fra, ce qui correspond aux deux variables les mieux représentées dans la première analyse. Trois variables sont très bien représentées : Sca/fra, Pat/fra, Ail/rup. Une seule association trouvée est nouvelle et significative, Pat/fra et Ail/rupNO (Annexe 22).

### II.B.2.3 Synthèse de l'analyse de l'ensemble des couples lésionnels

#### *II.B.2.3.1 Données issues d'Epifaune*

Ce sont neuf associations très significatives qui ont été identifiées avec cette première analyse des données SAGIR issues d'Epifaune : Cou/Rup Et Cou/Fra, Cav/Fra Et Te/HemNO, Cav/Rup Et Te/HemNO et leur inverse, Cou/Hem Et Cav/Oed, Cou/Hem Et Cou/Fra, Cou/Hem Et Cav/RupNO, Cav/Hem Et Cav/RupNO et leur inverse. Ainsi que deux associations significatives qui ont été trouvées suite à l'analyse couple/couple des données SAGIR de la base Epifaune : Cav/fra et Cav/rup ainsi que Cou/rup et Cav/rup (Tableau 12). L'ensemble des valeurs de p-value sont retrouvées en annexe (Annexe 23).

Tableau 12 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données d'Epifaune ; les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| Matrices                 | Tête | Cou  | Aile | Cavité coelomique  | Patte |
|--------------------------|------|--|------|--|-------|
| <b>Tête</b>              | /    | /  | /    | <b>Cav/fra et Te/hemNo</b><br><b>Cav/rup et Te/hemNo et leur inverse</b>       | /     |
| <b>Cou</b>               |      | <b>Cou/rup et cou/fra</b><br><b>Cou/hem et Cou/fra</b> | /    | <b>Cou/hem et Cav/oed</b><br><b>Cou/hem et Cav/rupNO</b><br>Cou/rup et Cav/rup | /     |
| <b>Aile</b>              |      |  | /    | /  | /     |
| <b>Cavité coelomique</b> |      |  |      | <b>Cav/hem et Cav/rupNO et leur inverse</b><br>Cav/fra et Cav/rup              | /     |
| <b>Patte</b>             |      |  |      |  | /     |

### II.B.2.3.2 Données issues du centre de soin de la faune sauvage de l'ENVT

Ce sont trois associations très significatives qui ont été trouvées à partir de l'analyse couple/couple de données de l'ENVT : Sca/fra et Pat/fraNO et leur inverse ainsi que Te/fra et Ail/fraNO. Six associations significatives ont été déduites de l'analyse couple/couple de données de l'ENVT : Ail/rup et Pat/fraNO et leur inverse, Pat/fra et Ail/fra, Ail/rup et Te/fraNO et leur inverse, Te/hem et Ail/fraNO (Tableau 13). L'ensemble des valeurs de p-value sont retrouvées en annexe (Annexe 24).

Tableau 13 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT; les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| Matrice                    | Tête | Ceinture scapulaire | Aile   | Cavité coelomique | Patte  |
|----------------------------|------|---------------------|--|-------------------|--|
| <b>Tête</b>                | /    | /                   | <b>Te/fra et Ail/fraNO</b><br>Te/fra et Ail/rupNO et leur inverse<br>Te/hem et Ail/fraNO | /                 | /  |
| <b>Ceinture scapulaire</b> |      | /                   | /  | /                 | <b>Sca/fra et Pat/fraNO et leur inverse</b>                |
| <b>Aile</b>                |      |                     | /  | /                 | Ail/rup et Pat/fraNO et leur inverse<br>Pat/fra et Ail/fra |
| <b>Cavité coelomique</b>   |      |                     |  | /                 | /  |
| <b>Patte</b>               |      |                     |  |                   | /  |

## II.B.3 ACM avec les variables de couple lésionnel et les ordres

Cette prochaine série d'analyse va prendre en compte l'ensemble des variables de couples matrice/analyte ainsi que la variable ordre. Cela va permettre de faire émerger des hypothèses d'associations entre ordre et lésions et peut-être des patterns lésionnels.

### II.B.3.1 Analyse des données Epifaune

#### II.B.3.1.1 ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte et des ordres

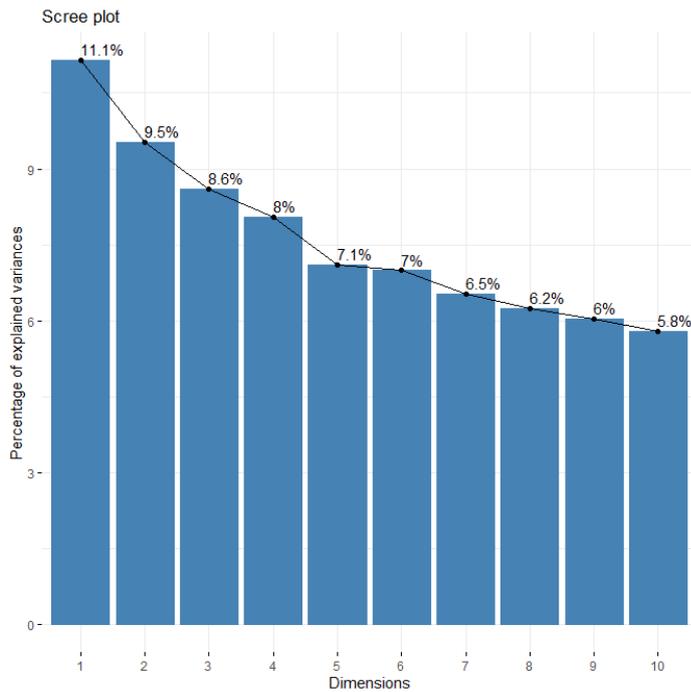


Figure 15 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données Epifaune avec toutes les variables de couple lésionnel et les ordres

Il y a une cassure dès la première dimension, le cumul de variabilité des dimensions 1 et 2 est de 20,6%, ce qui est suffisant pour l'analyse (Figure 15).

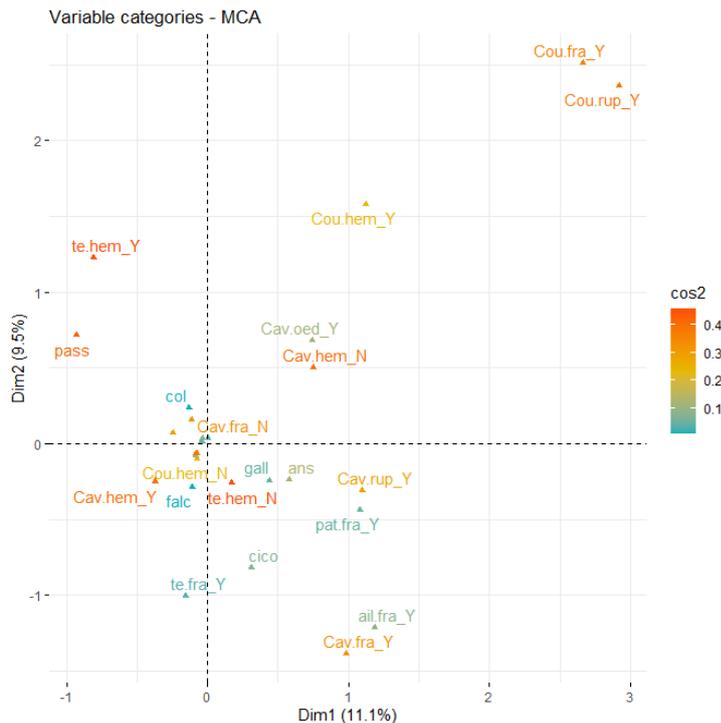


Figure 16 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres de la base données Epifaune

La variable avec la valeur de  $\text{Cos}^2$  la plus importante et proche de 0,5 est Te/hem. Les associations relevées graphiquement sont : Pass et Te/hem, Cou/fra et Cou/rup, Cav/hem et Cav/hemNO et leur inverse, Cou/hemNO et Cav/fraNO, Cav/hem et Te/hemNO, Cav/rup et Te/hemNO, Cav/fra et Cav/rup (Figure 16). Parmi, ces huit associations, trois sont nouvelles par rapport à l'analyse précédente et significatives : Cou/hem et Cav/hemNO et leur inverse, Cav/hem et Te/hemNO ainsi que Pass et Te/hem.

### II.B.3.1.2 ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes

La prochaine analyse se fera uniquement en retirant les cas décrits par la modalité Cav/hem\_Y car c'est la modalité la plus fréquente, et cela polarise l'analyse. La variable Te/hem apparait comme la variable la mieux représentée. Sept associations sont relevées, quatre sont nouvelles et une seule significative, Ans et Te/hemNO (Annexe 25).

Ensuite, la variable Te/hem étant la mieux représentée et la variable Cou/rup étant liée à Cou/fra ; ainsi elles sont retirées. Les variables et modalité les mieux représentées sont alors : Cou/hem, Falc, Cav/rup et Pat/fra. Deux des trois associations trouvées sont significatives et deux sont nouvelles cependant uniquement Falc et Pat/fra valide les deux critères (Annexe 26).

La prochaine analyse reprendra les mêmes caractéristiques que la précédente en retirant cependant les cas avec Cou/fra\_Y au lieu de ceux avec Cou/rup\_Y. Aucune variable n'a une valeur de  $\text{Cos}^2 > 0.5$  cependant les variables Cav/rup et Cav/oed sont proches de cette limite. Une association significative et nouvelle est extraite de cette analyse, Gall et Cav/rup (Annexe 27).

La prochaine analyse est sans les cas avec la modalité Cav/rup\_Y étant donné que c'est l'une des modalités dont la variable est le mieux représentée. Cou/hem est la variable la mieux

représentée. Cinq nouvelles associations dont deux significatives, Ans et Ail/fra ainsi que Ans et Cou/hemNO (Annexe 28).

Plusieurs analyses ont ensuite été faite avec le retrait des cas décrits par les modalités Te/hem, Cou/rup, Cou/fra, Pass, Pat/fra et Cav/hem mais sans résultats significatifs.

### II.B.3.2 Analyse des données du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVV

#### II.B.3.2.1 ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte et des ordres

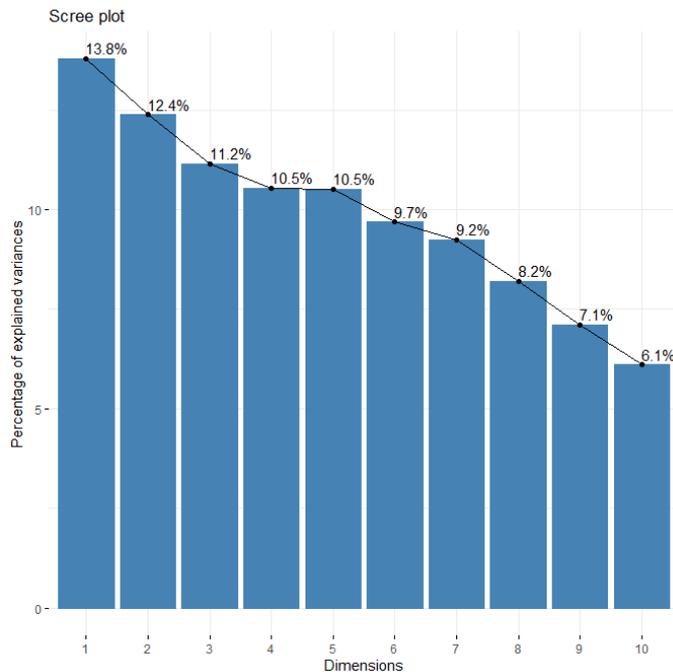


Figure 17 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données du centre de soins de l'ENVV avec toutes les variables de couple lésionnel et les ordres

Il y a des décrochages successifs jusqu'à la troisième dimension et la variabilité cumulée des dimensions 1 et 2 est de 26,2% ce qui est suffisant pour l'analyse (Figure 17).

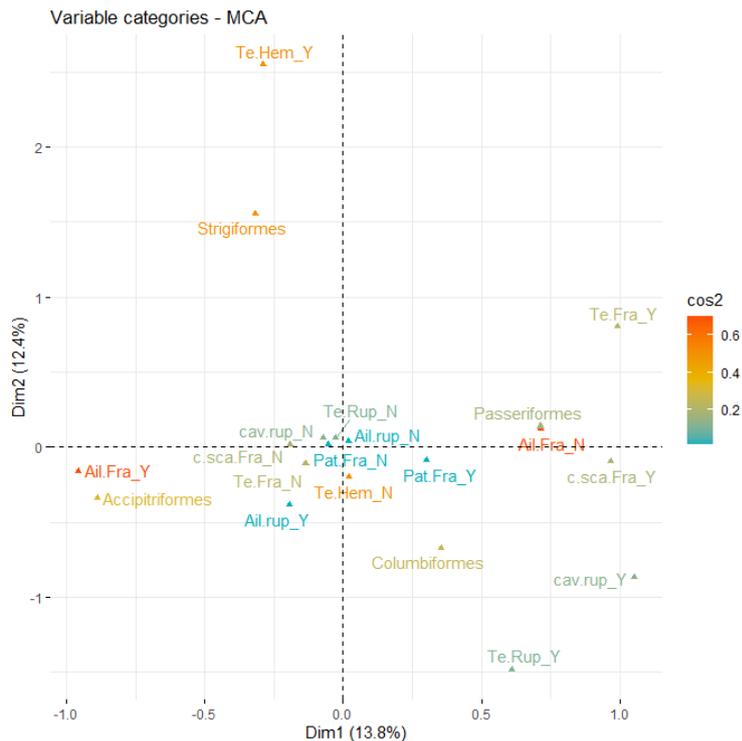


Figure 18 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM des données du centre de soins de l'ENVT avec tous les couples lésionnels et les ordres

Les variables et modalité avec une valeur de  $\text{Cos}^2$  supérieure à 0,5 sont : Ail/fra, Te/hem et Stri. Par lecture graphique les associations gardées sont ; Ail/fra et Acci, Te/hem et Stri (Figure 18). L'analyse des variables ordre et de l'ensemble de celles des couples lésion-matrice permet de trouver six nouvelles associations significatives.

### II.B.3.2.2 ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes

La prochaine analyse est faite sans les cas avec les modalités Ail/fra\_Y ou Te/hem\_Y car les variables Ail/fra et Te/hem sont les mieux représentées. La variable la mieux représentée est Ail/rup. Parmi toutes les associations relevées, une seule est significative et nouvelle, Acci et Sca/fraNO (Annexe 29).

Les cas avec la modalité Ail/rup\_Y sont exclus car c'est la modalité la mieux représentée actuellement. Les variables les mieux représentées sont Pat/fra, Sca/fra. Toutes les associations trouvées sont déjà connus, il semble que la majorité des possibilités liées à cette analyse avec les variables ordre et celles de couple aient été réalisées (Annexe 30).

### II.B.3.3 Synthèse de l'analyse avec les ordres et couples lésionnels

#### II.B.3.3.1 Données issues d'Epifaune

Ce sont huit nouvelles associations très significatives qui ont été identifiées avec cette seconde analyse des données SAGIR issus de Epifaune par rapport à celle précédente sans les ordres : Cav/hem et Te/hemNO, Cou/hem et Cav/hemNO, Ans et Te/hemNO, Ans et Ail/fra, Ans et Cav/fra, Cico et Cav/fra, Falc et Pat/fra, Pass et Te/hem et aussi trois associations significatives : Ans et Cou/hemNO, Ans et Cav/oeo, Gall et Cav/rup (Tableau 14, Tableau 14). L'ensemble des valeurs de p-value sont retrouvées en annexe (Annexe 31).

Tableau 14 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données d'Epifaune. Les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| Matrices                 | Tête | Cou  | Aile | Cavité coelomique   | Patte |
|--------------------------|------|--|------|---|-------|
| <b>Tête</b>              | /    | /  | /    | <b>Cav/fra et Te/hemNo</b><br><b>Cav/rup et Te/hemNo et inversement</b>                                       | /     |
| <b>Cou</b>               |      | <b>Cou/rup et cou/fra</b><br><b>Cou/hem et Cou/fra</b> | /    | <b>Cou/hem et Cav/oed</b><br><b>Cou/hem et Cav/rupNO</b><br><b>Cou/hem et Cav/hemNO</b><br>Cou/rup et Cav/rup | /     |
| <b>Aile</b>              |      |  | /    | /   | /     |
| <b>Cavité coelomique</b> |      |  |      | <b>Cav/hem et Cav/rupNO et inversement</b><br>Cav/fra et Cav/rup  | /     |
| <b>Patte</b>             |      |  |      |   | /     |

Tableau 15 Tableau des associations entre couples lésionnels et ordres mises en évidence à partir des données d'Epifaune. Les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| Ordres / Matrices    | Tête                   | Cou              | Aile                  | Cavité coelomique                       | Patte                  |
|----------------------|------------------------|------------------|-----------------------|---|------------------------|
| <b>Ansériformes</b>  | <b>Ans et Te/hemNO</b> | Ans et Cou/hemNO | <b>Ans et Ail/fra</b> | <b>Ans et Cav/fra</b><br>Ans et cav/oed | /                      |
| <b>Ciconiiformes</b> | /                      | /                | /                     | <b>Cico et Cav/fra</b>                  | /                      |
| <b>Columbiformes</b> | /                      | /                | /                     | /                                       | /                      |
| <b>Falconiformes</b> | /                      | /                | /                     | /                                       | <b>Falc et pat/fra</b> |
| <b>Galliformes</b>   | /                      | /                | /                     | Gall et Cav/rup                         | /                      |
| <b>Passériformes</b> | <b>Pass et Te/hem</b>  | /                | /                     | /                                       | /                      |

### II.B.3.3.2 Données issues du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT

Ce sont quatre associations très significatives qui ont été trouvées à partir de l'analyse avec les variables ordre et celles de couples lésionnels de données du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT : Ail/fraNO et Sca/fra, Acci et Ail/fra, Pass et Ail/fraNO, Stri et Te/hem. A cela s'ajoute les trois associations significatives qui ont été extraites de cette seconde analyse ; Sca/fra et Te/fra, Acci et Sca/fraNO, Col et Cav/rup (Tableau 16, Tableau 17). L'ensemble des valeurs de p-valeur sont retrouvées en annexe (Annexe 32).

Tableau 16 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT. Les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| Matrices                   | Tête | Ceinture scapulaire | Aile  | Cavité coelomique | Patte   |
|----------------------------|------|---------------------|---|-------------------|---|
| <b>Tête</b>                | /    | Sca/fra et te/fra   | <b>Te/fra et Ail/fraNO</b><br>Te/fra et Ail/rupNO<br>et leur inverse<br>Te/hem et Ail/fraNO | /                 | /   |
| <b>Ceinture scapulaire</b> |      |                     | /   | /                 | <b>Sca/fra et Pat/fraNO</b><br>et leur inverse                |
| <b>Aile</b>                |      |                     | /   | /                 | Ail/rup et Pat/fraNO et<br>leur inverse<br>Pat/fra et Ail/fra |
| <b>Cavité coelomique</b>   |      |                     |   | /                 | /   |
| <b>Patte</b>               |      |                     |   |                   | /   |

Tableau 17 Tableau des associations entre couples lésionnels et ordres mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT ; les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| Ordres / Matrices     | Tête                  | Ceinture scapulaire | Aile                     | Cavité coelomique | Patte |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|-------|
| <b>Accipitriforme</b> | /                     | Acci et Sca/fraNO   | <b>Acci et Ail/fra</b>   | /                 | /     |
| <b>Columbiformes</b>  | /                     | /                   | /                        | Col et Cav/rup    |       |
| <b>Passériformes</b>  |                       | /                   | <b>Pass et Ail/fraNO</b> | /                 | /     |
| <b>Strigiformes</b>   | <b>Stri et Te/hem</b> | /                   | /                        | /                 | /     |

#### II.B.4 ACM avec les variables de couple lésionnel, les ordres et les causes d'entrée

Cette analyse ne concerne que les données de la base de l'ENVT car ce sont les seules à avoir la variable « cause d'entrée ». L'objectif est de voir si des patterns ressortent de l'analyse conjointe des trois variables, couple matrice/analyte, ordre et cause d'entrée.

## II.B.4.1 ACM avec l'ensemble des variables de couples matrice/analyte, d'ordres et de causes d'entrée

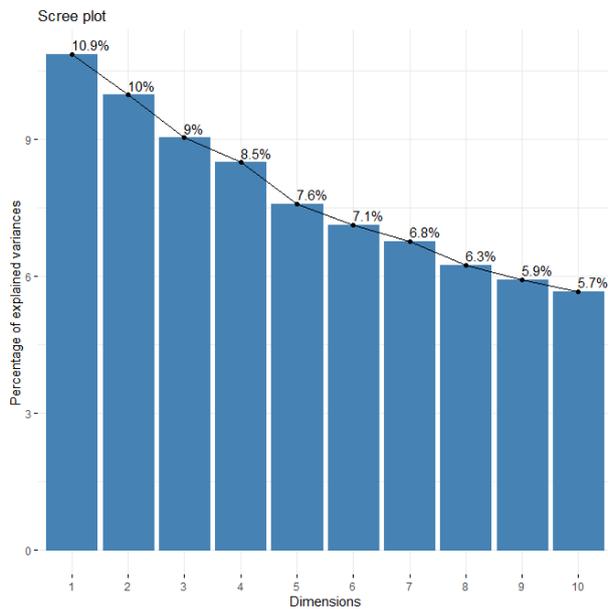


Figure 19 Graphique de l'inertie des 10 premières dimensions de l'analyse ACM des données du centre de soins de l'ENVT avec toutes les variables de couple lésionnel, ordres et causes d'entrée

On observe un décrochage successif léger aux dimensions 1 et 2 et 20,9% d'inertie est expliquer par les deux premières dimensions. Nous pouvons nous contenter de celles-ci pour l'analyse. L'inertie de chaque dimension est plus faible que durant les analyses précédentes car une nouvelle variable rentre dans l'équation (Figure 19).

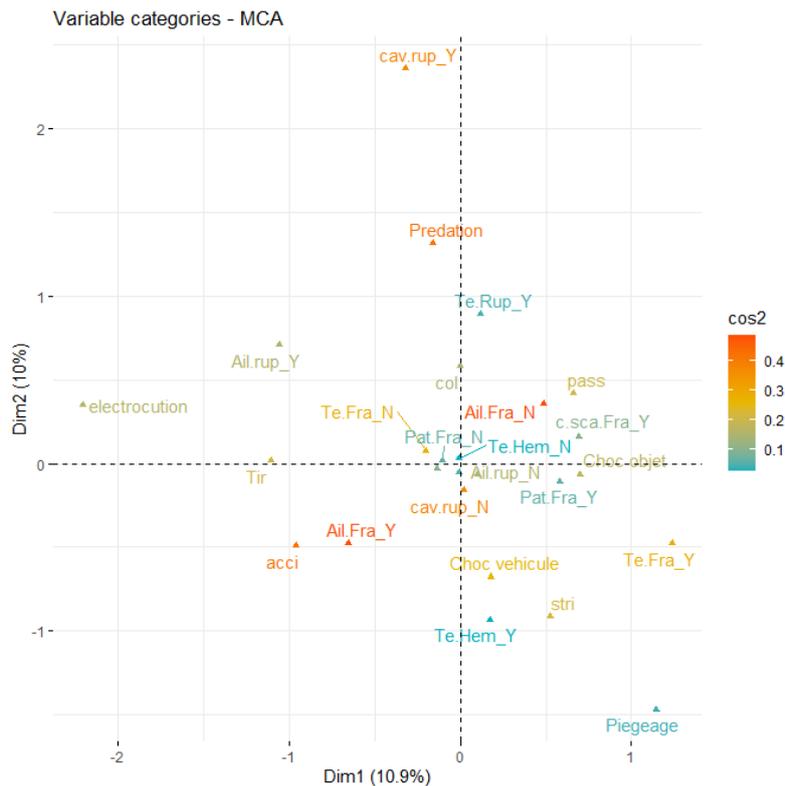


Figure 20 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM des données du centre de soins de l'ENVT avec tous les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée

Les variables les mieux représentées sont Ail/fra et Cav/rup ( $\text{Cos}^2 < 0,5$ ). Par lecture graphique, les associations relevées sont : Acci et Ail/fra, Elec et Ail/rup, Tir et Ail/rup, Cav et Pred, Pass et Choc objet, Stri et Choc vehicule, Stri et Te/fra, Choc vehicule et Te/fra, Choc objet et Sca/fra, Choc objet et Ail/fraNO, Pred et Ail/rup (Figure 20). Cette analyse a permis de trouver sept nouvelles associations très significatives et deux significatives.

#### II.B.4.2 ACM avec retrait successif des cas des modalités et variables extrêmes

La prochaine analyse exclue les cas avec les modalités Cav/rup\_Y et Ail/fra\_Y car ce sont les deux modalités les mieux représentées de cette première analyse. Les modalités les mieux représentées sont Ail/rup et Electrocutation. L'ensemble des associations relevées est déjà connu (Annexe 33).

Les cas avec les modalités Electrocutation ou Ail/rup\_Y sont ensuite écartés de l'analyse. Les modalités les mieux représentées sont alors : Te/rup, Pred, Sca/fra. Une unique association trouvée est significative : Pred et Sca/fraNO (Annexe 34).

Les cas avec comme modalité Prédation sont exclus. La variable la mieux représentée est Sca/fra. Aucune nouvelle association n'est relevée (Annexe 35), il semble qu'une grande partie des possibilités aient été trouvées, l'analyse est arrêtée.

#### II.B.4.3 Synthèse de l'analyse avec les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée

Cette analyse regroupant les variables de couples lésionnels ainsi que les variables ordre et cause d'entrée a permis de mettre en évidence sept nouvelles associations très significatives; Choc objet et Sca/fra, Choc objet et Ail/fraNO, Elec et Ail/rup, Pred et Ail/rup, Pred et Cav/rup,

Tir et Ail/fra ainsi que Acci et Tir ; ainsi que deux nouvelles associations significatives; Choc objet et Te/fra ainsi que Pred et Sca/fraNO (Tableau 18, Tableau 19, Tableau 20, Tableau 21). L'ensemble des valeurs de p-value sont retrouvées en annexe (Annexe 36).

Tableau 18 Tableau des associations entre couples lésionnels mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT, les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| Matrices                   | Tête | Ceinture scapulaire | Aile   | Cavité coelomique | Patte  |
|----------------------------|------|---------------------|--|-------------------|--|
| <b>Tête</b>                | /    | Sca/fra et Te/fra   | <b>Te/fra et Ail/fraNO</b><br>Te/fra et Ail/rupNO et leur inverse<br>Te/hem et Ail/fraNO | /                 | /  |
| <b>Ceinture scapulaire</b> |      | /                   | <b>Ail/fraNO et Sca/fra</b>  | /                 | <b>Sca/fra et Pat/fraNO et leur inverse</b>                |
| <b>Aile</b>                |      |                     | /  | /                 | Ail/rup et Pat/fraNO et leur inverse<br>Pat/fra et Ail/fra |
| <b>Cavité coelomique</b>   |      |                     |  | /                 | /  |
| <b>Patte</b>               |      |                     |  |                   | /  |

Tableau 19 Tableau des associations entre couples lésionnels et ordres et causes mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT, les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| Ordres / Matrices      | Tête                  | Ceinture scapulaire | Aile                     | Cavité coelomique | Patte |
|------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|-------|
| <b>Accipitriformes</b> | /                     | Acci et Sca/fraNO / | <b>Acci et Ail/fra</b>   | /                 | /     |
| <b>Columbiformes</b>   | /                     | /                   | /                        | Col et Cav/rup    | /     |
| <b>Passériformes</b>   | /                     | /                   | <b>Pass et Ail/fraNO</b> | /                 | /     |
| <b>Strigiformes</b>    | <b>Stri et Te/hem</b> | /                   | /                        | /                 | /     |

Tableau 20 Tableau des associations entre couples lésionnels et causes d'entrée mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT, les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| <b>Causes</b><br><b>Matrices</b> | <b>Tête</b>             | <b>Ceinture<br/>scapulaire</b>   | <b>Aile</b>                        | <b>Cavité<br/>coelomique</b> | <b>Patte</b> |
|----------------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|
| <b>Choc véhicule</b>             | /                       | /                                | /                                  | /                            | /            |
| <b>Choc objet</b>                | Choc objet et<br>Te/fra | <b>Choc objet et<br/>Sca/fra</b> | <b>Choc objet et<br/>Ail/fraNO</b> | /                            | /            |
| <b>Electrisation</b>             | /                       | /                                | <b>Elec et Ail/rup</b>             | /                            | /            |
| <b>Piégeage</b>                  | /                       | /                                | /                                  | /                            | /            |
| <b>Prédation</b>                 | Pred et Te/rup          | Pred et<br>Sca/fraNO             | Pred et Ail/rup                    | <b>Pred et<br/>Cav/rup</b>   | /            |
| <b>Tir</b>                       | /                       | /                                | <b>Tir et Ail/rup</b>              | /                            | /            |

Tableau 21 Tableau des associations entre ordres et causes d'entrée mises en évidence à partir des données du centre de soins de l'ENVT, les associations en gras ont une p-valeur  $\leq 0,01$ , les autres ont une p-valeur  $\leq 0,05$

| <b>Causes</b><br><b>Ordres</b> | <b>Accipitriformes</b> | <b>Columbiformes</b> | <b>Passériformes</b> | <b>Strigiformes</b>          |
|--------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|
| <b>Choc véhicule</b>           | /                      | Col et Choc vehicule | /                    | <b>Stri et Choc vehicule</b> |
| <b>Choc objet</b>              | /                      | /                    | /                    | /                            |
| <b>Electrisation</b>           | <b>Acci et Elec</b>    | /                    | /                    | /                            |
| <b>Piégeage</b>                | /                      | /                    | /                    | /                            |
| <b>Prédation</b>               | <b>Acci et PredNO</b>  | Col et Pred          | <b>Pass et Pred</b>  | /                            |
| <b>Tir</b>                     | <b>Acci et Tir</b>     | /                    | <b>Pass et TirNO</b> | /                            |

## II.B.5 Analyse des associations entre cause d'entrée et ordre de la base de données du centre de soins de l'ENVT

Afin de vérifier qu'aucune association entre les variables ordre et cause d'entrée n'ait été omise, un tableau croisant chaque ordre avec chaque cause d'entrée au sein de l'échantillon a été réalisé et les associations testées deux à deux avec un test exact de Fisher. Cependant, il existe un biais concernant le fait qu'initialement l'échantillon ait été construit dans le but d'avoir le même nombre d'individus par cause et par ordre. Ainsi nous avons fait ce tableau à partir de l'ensemble des individus initialement extrait (avant échantillonnage) pour les causes traumatiques. Ce tableau regroupe 17 associations dont 6 oppositions (Tableau 22). Les sens des regroupements est déterminé par l'étude de la contingence de chaque couple.

Tableau 22 Valeurs de p-value des différentes combinaisons d'associations possibles entre les modalités de causes d'entrée et d'ordres de l'ensemble des cas traumatiques du centre de soins de l'ENVT sur la période de l'étude, les associations en gras ont une p-value  $\leq 0,01$

| Cause\Ordre           | Accipitriformes<br>n=124 | Columbiformes<br>n=760 | Passériformes<br>n=872 | Strigiformes<br>n=173 |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| Choc objet fixe n=411 | 0,549                    | 1                      | 0,025                  | 0,018                 |
| Choc véhicule n=510   | <b>p&lt;0,01</b>         | 0,033                  | <b>p&lt;0,01</b>       | <b>p&lt;0,01</b>      |
| Électrocution n=39    | <b>p&lt;0,01</b>         | <b>p&lt;0,01</b>       | <b>p&lt;0,01</b>       | 0,361                 |
| Piégeage n=9          | 0,083                    | 0,034                  | 0,740                  | 0,026                 |
| Prédation n=1237      | <b>p&lt;0,01</b>         | <b>0,001</b>           | <b>p&lt;0,01</b>       | <b>p&lt;0,01</b>      |
| Tir n=66              | <b>p&lt;0,01</b>         | 0,895                  | <b>p&lt;0,01</b>       | 0,058                 |

**Accipitriformes** : il y a quatre associations dont une supplémentaire (Acci et Choc véhicule) et les trois autres sont identiques aux analyses précédentes.

**Columbiformes** : il y a deux regroupements supplémentaires et ce sont des oppositions, avec l'électrocution et le piégeage. Pour le piégeage, l'effectif est faible (n=9), les résultats sont difficilement interprétables avec certitude. La seule association certaine est l'opposition avec les électrocutions.

**Passériformes** : trois nouvelles associations en plus des précédentes sont trouvées. L'association choc objet et *Passériformes* est significative et semble très probable si l'on reprend la tendance lésionnelle précédemment trouvée (absence très significative de fracture des ailes dans les deux cas). Concernant Choc véhicule et *Passériformes*, la p-value est très significative et le tableau de contingence montre un nombre important de passériformes (n=89) concernés. Ainsi, l'association est positive. Finalement, nous observons une opposition avec les électrisations. En effet aucun cas relevé n'implique des passériformes.

**Strigiformes** : il y a trois associations supplémentaires. Pour le piégeage, les strigiformes représentent un tiers des cas mais au sein des causes d'entrées de l'ordre c'est seulement 1,73% des entrées, de plus la cause piégeage est sous représentées avec seulement neuf cas. Donc le lien doit être interprété avec prudence. L'association avec les chocs contre des objets fixes est acceptable toutefois ce type de collision paraît moins évident qu'avec des véhicules. Finalement il y a une opposition significative avec la prédation.

## II.B.6 La classification hiérarchique en clusters

Une dernière analyse est réalisée afin de regrouper en « cluster » les variables et modalités. Cela permet d'avoir une vision plus globale des associations. De plus cela rend possible une comparaison avec les résultats trouvés lors des ACM.

## II.B.6.1 Données issues d'Epifaune

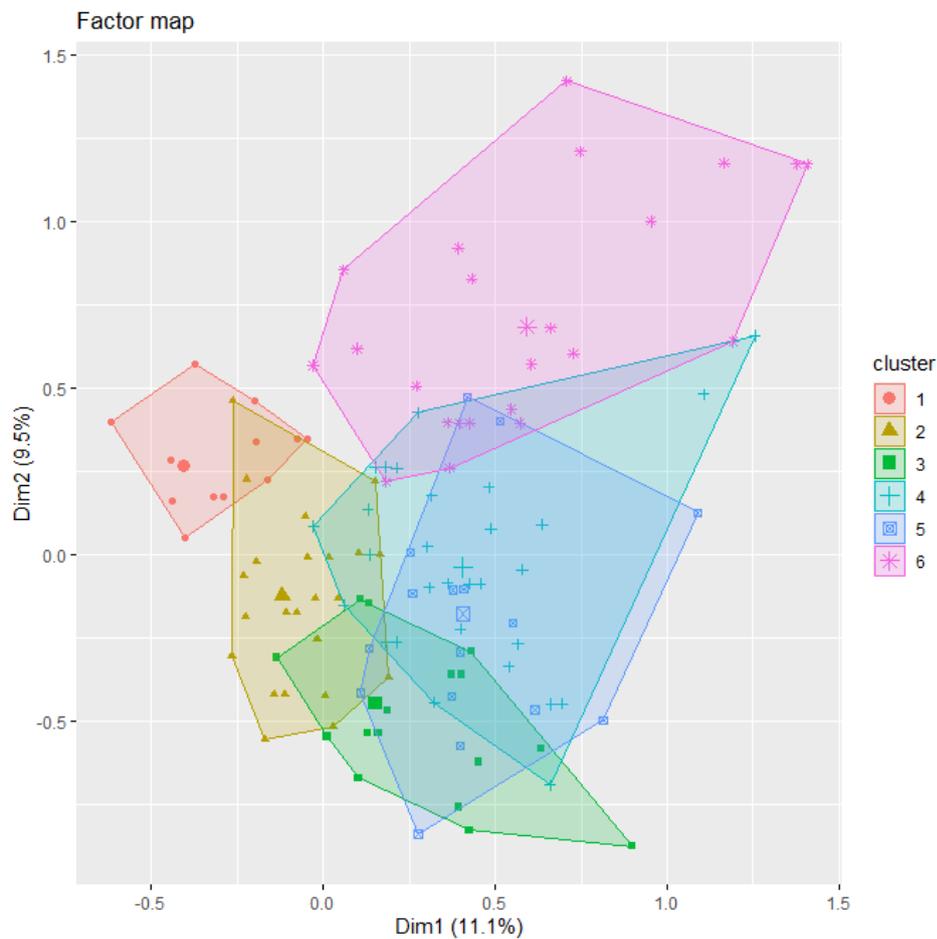


Figure 21 Représentation en cluster des différentes modalités de variables de couple lésionnel et d'ordre, à partir des données Epifaune

L'analyse qui comprend les variables ordres et les couples lésionnels révèle six clusters. Sur la projection des dimensions 1 et 2, les clusters 1 et le 6 sont ceux qui se démarquent le plus tandis que les clusters 4 et 5 sont presque identiques. Il y a 20,6% de variabilité de l'échantillon décrit par les dimensions 1 et 2 (Figure 21).

### II.B.6.1.1 Cluster 1

Le cluster 1 est décrit par les individus appartenant plutôt aux *Passériformes* avec la présence d'hémorragie de la tête. On retrouve l'absence de rupture, fracture et œdème de la cavité cœlomique, l'absence de fracture des pattes, des ailes, du cou ou de la tête ainsi que l'absence d'hémorragie ou de rupture du cou. Ainsi les associations déjà trouvées précédemment : Passériformes et hémorragie de la tête ou bien hémorragie de la tête et absence de fracture de la cavité cœlomique sont présentes dans ce cluster (Figure 21).

### II.B.6.1.2 Cluster 2

Le cluster 2 est composé des individus appartenant aux *Ansériformes*, *Columbiformes* ou *Falconiformes*. Il est décrit par la présence d'hémorragie ou de d'œdème de la cavité cœlomique et de fracture de la tête ainsi que par l'absence de rupture ou fracture de la cavité cœlomique, l'absence d'hémorragie du cou ou de la tête, l'absence de fracture des pattes ou des ailes et l'absence de rupture ou fracture du cou.

Ce cluster inclut les deux associations les plus significatives de l'échantillon SAGIR, hémorragie de la cavité cœlomique et absence de rupture de la cavité et leur inverse. C'est un cluster sur la projection qui apparaît assez détaché avec un centre qui n'est recoupé par aucun autre cluster (Figure 21).

#### *II.B.6.1.3 Cluster 3*

Le cluster 3 est composé des *Ciconiiformes* ainsi que des cas avec des fractures des ailes ou de la cavité cœlomique. On retrouve par contre l'absence d'hémorragie de la tête ou du cou et l'absence d'œdème de la cavité cœlomique. Les associations entre fracture de la cavité cœlomique et absence d'hémorragie de la tête ou bien *Ciconiiformes* et fracture de la cavité cœlomique ont déjà été décrites par l'analyse ACM. C'est un cluster très recoupé surtout par le n°4 (Figure 21).

#### *II.B.6.1.4 Cluster 4*

Le cluster 4 est composé des *Galliformes* ainsi que des cas de rupture ou d'œdème de la cavité cœlomique et de rupture du cou. Sont décrits aussi les absences d'hémorragie de la cavité cœlomique, du cou, de la tête. Les associations entre rupture de la cavité cœlomique et absence d'hémorragie de la tête ainsi que *Galliformes* et rupture de la cavité cœlomique sont significatives (Figure 21).

#### *II.B.6.1.5 Cluster 5*

Le cluster 5 est composé des *Falconiformes* ainsi que des cas avec des fractures des pattes ou des ailes associés à l'absence d'hémorragie cœlomique. Bien que les modalités Ail/fra et Pat/fra soient proches l'analyse statistique n'a montré aucune dépendance entre les deux. Toutefois l'association Falconiforme et Pat/fra est significative et, a déjà été décrite par l'ACM (Figure 21).

#### *II.B.6.1.6 Cluster 6*

Le cluster 6 est composé des *Ansériformes*, des cas d'hémorragie, de rupture ou de fracture du cou et d'œdème cœlomique ainsi que de l'absence de rupture ou d'hémorragie cœlomique. C'est un cluster assez indépendant des autres mais seulement l'association rupture et fracture du cou y est significative (les autres ont été trouvées et testées lors de l'ACM et ne sont pas significatives) (Figure 21).

## II.B.6.2 Données issues du centre de soins de l'ENVT

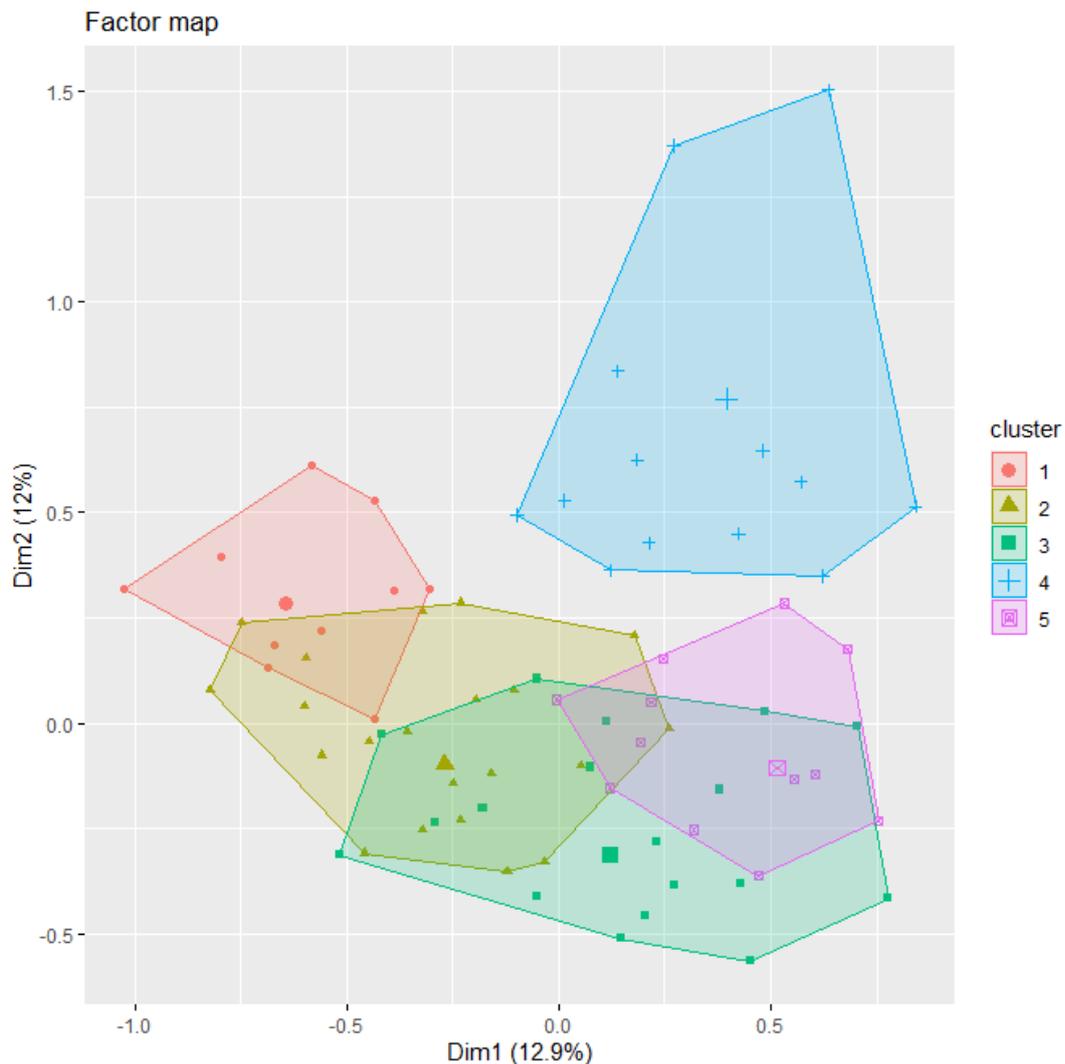


Figure 22 Représentation en cluster des différentes modalités de variables de couple lésionnel, d'ordre et de cause d'entrée des données du centre de soins de l'ENVT

Ici l'analyse de clusters a été réalisée à partir des variables ordre, cause d'entrée et celles des couples lésionnels. L'ensemble des clusters représente 24,9% de la variabilité sur les dimensions 1 et 2 de l'échantillon. Nous pouvons voir que le cluster 4 ressort par rapport aux autres puisqu'il ne recoupe aucun autre cluster. C'est celui qui contient entre autres la cause électrisation. Le cluster 3 est celui qui est le plus recoupé, notamment avec les clusters 2 et 5 (Figure 22).

### II.B.6.2.1 Cluster 1

Le cluster 1 est composé des *Strigiformes*, des cas d'hémorragie de la tête et de collision avec des véhicules. On retrouve l'absence de fracture des pattes ou de la ceinture scapulaire ou bien encore l'absence de rupture des ailes. Il présente des similitudes avec les résultats de l'ACM qui montrent des associations entre *Strigiformes* et Choc véhicule, *Strigiformes* et hémorragie de la tête ou bien la présence de fracture des pattes associée à l'absence de fracture de la ceinture scapulaire (Figure 22).

### II.B.6.2.2 Cluster 2

Le second cluster est composé des *Passériformes*, des cas de fracture des pattes ou de la tête ainsi que de l'absence de fracture de la ceinture scapulaire, l'absence de rupture des ailes, de la tête ou de la cavité coelomique et de l'absence d'hémorragie de la tête. Il présente peu de similitudes avec les résultats des ACM hormis l'association entre fracture de la patte et absence de rupture de l'aile (Figure 22).

### II.B.6.2.3 Cluster 3

Le cluster 3 est composé des *Columbiformes*, des cas de tir et de fracture de la ceinture scapulaire ainsi que de l'absence de fracture des pattes ou de la tête, de l'absence d'hémorragie de la tête et de l'absence de rupture des ailes. Il présente peu de similitude avec les résultats des ACM hormis l'association entre fracture de la ceinture scapulaire et l'absence de fracture de la patte (Figure 22).

### II.B.6.2.4 Cluster 4

Le cluster 4 est composé des *Accipitriformes*, des cas d'électrisation et de rupture des ailes. Il regroupe aussi les absences de fracture de la ceinture scapulaire ou de la tête ou des pattes. Plusieurs associations significatives sont communes avec les résultats des ACM : électrisation et rupture de l'aile, électrisation et *Accipitriformes*, *Accipitriformes* et absence de fracture de la ceinture scapulaire (Figure 22).

### II.B.6.2.5 Cluster 5

Le cluster 5 est composé des *Columbiformes*, des cas de prédation, de rupture de la tête ou du cou ainsi que de l'absence de fracture de la ceinture scapulaire ou de la tête ou des pattes ou bien de l'absence de rupture des ailes. Plusieurs associations significatives sont communes avec les résultats des ACM dont *Columbiformes* et prédation (Figure 22).

## II.B.6.3 Synthèse de l'analyse en clusters

Les clusters obtenus semblent tenir plus compte de la proximité sur les projections. Cependant, malgré une proximité relative, les associations peuvent ne pas être significatives. Ainsi l'utilisation de ces clusters ne permet qu'en première intention d'orienter les recherches d'associations ou bien de conforter celles trouvées par analyse de l'ACM classique.

## II.C Synthèse générale des résultats des analyses

### II.C.1 Données issues d'Epifaune

Les deux différentes séries d'analyses ont permis de mettre en évidence **17 associations très significatives** et 6 associations significatives à partir des données SAGIR extraites d'Epifaune. Parmi ces 23 associations, 15 concernent la matrice cavité coelomique et 5 les *Ansériformes*. Ce sont la matrice et l'ordre les plus décrits (Tableau 23, Annexe 37).

Tableau 23 Tableau récapitulatif des associations très significatives trouvées à partir des données issues d'Epifaune

| Couple1      | Couple2                    | P-Value          |
|--------------|----------------------------|------------------|
| Ansériformes | Aile/Fracture              | <b>p&lt;0,01</b> |
| Ansériformes | Cavité coelomique/Fracture | <b>0,002</b>     |

|                                |                             |                  |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------|
| Ansériformes                   | Tête/HémorragieNO           | <b>p&lt;0,01</b> |
| Cavité coelomique/Fracture     | Tête/HémorragieNO           | <b>0,002</b>     |
| Cavité coelomique/Hémorragie   | Cavité coelomique/RuptureNO | <b>p&lt;0,01</b> |
| Cavité coelomique/Hémorragie   | Cou/HémorragieNO            | <b>0,002</b>     |
| Cavité coelomique/Hémorragie   | Tête/HémorragieNO           | <b>p&lt;0,01</b> |
| Cavité coelomique/HémorragieNO | Cavité coelomique/Rupture   | <b>0,002</b>     |
| Cavité coelomique/Rupture      | Tête/HémorragieNO           | <b>0,002</b>     |
| Cavité coelomique/Rupture      | Cou/HémorragieNO            | <b>0,004</b>     |
| Cou/Hémorragie                 | Cou/Fracture                | <b>0,008</b>     |
| Cou/Hémorragie                 | Cavité coelomique/Œdème     | <b>0,004</b>     |
| Cou/Hémorragie                 | Cavité coelomique/RuptureNO | <b>0,008</b>     |
| Cou/Rupture                    | Cou/Fracture                | <b>p&lt;0,01</b> |
| Falconiformes                  | Patte/Fracture              | <b>0,003</b>     |
| Passériformes                  | Tête/Hémorragie             | <b>p&lt;0,01</b> |
| Tête/Hémorragie                | Cavité coelomique/RuptureNO | <b>0,002</b>     |

Trois associations concernent les Ansériformes : ***Ansériformes et fracture de l'aile, Ansériforme et fracture de la cavité coelomique*** ainsi que ***Ansériforme et absence d'hémorragie de la tête.***

***Ansériformes et fracture de l'aile*** : ce regroupement est un peu subtile à interpréter, en effet les ansériformes constituent plus de 30% des cas de fracture des ailes cependant cela correspond à seulement 4 cas sur les 13 relevés. Dans le cas de fracture des ailes il semble y avoir plus de chance que ce soit un ansériforme par contre l'inverse n'est pas vrai car les fractures des ailes ne représentent que 2% des couples lésionnels dans cet ordre. On peut ajouter que 75% des cas de fracture des ailes chez les ansériformes sont en bord de l'eau (dans les données Epifaune) mais il n'existe pas d'étiologie envisagée dans les conclusions d'analyses disponibles sur Epifaune.

***Ansériforme et fracture de la cavité coelomique*** : les fractures de la cavité coelomique représentent 11,6% (n=21) des couples lésionnels dans cet ordre et cet ordre regroupe 45,7% des cas de ce couple lésionnel (le plus important). Parmi ceux-ci 74% des lésions concernent la partie crâniale, assimilable au thorax, et 26% la partie caudale. L'analyse approfondie permet de distinguer trois grands organes touchés : les côtes, les viscères digestives qui se caractérisent par des fissures ou écrasements hépatiques dans plus de 70% des cas, et le bréchet.

En ce qui concerne l'étiologie des cas concernés, une nette majorité de morts n'a pas d'étiologie connue ou bien précisée (69%), 9% sont dus à des tirs, 13% à des collisions routières et 9% à des électrocutions. Les lieux de découverte sont les bords d'eau (52%) le plus souvent, ce qui semble en adéquation avec le mode de vie des ansériformes.

**Ansériforme et absence d'hémorragie de la tête :** cette association traduit l'absence ou du moins la faible prévalence d'hémorragie du crâne chez les ansériformes. En effet, cela ne représente que 2,7% des couples de l'ordre alors que la moyenne est à 12,1%. De plus les Ansériformes ne comptent que pour 6,3% de l'effectif total de ce couple lésionnel.

Les atteintes de la cavité cœlomique ne sont à une exception près (**association hémorragie du cou et œdème cœlomique**) jamais associées à un autre couple lésionnel de manière significative dans la base de données Epifaune. Ainsi **les fractures de la cavité cœlomique sont opposées à la présence d'hémorragie de la tête**. Les fractures des côtes sont majoritaires (54,3%) suivies par celles du bréchet (31,4%). Le reste des atteintes se répartit entre la colonne vertébrale et le foie. Les causes décrites de fractures de la cavité cœlomique sont assez hétérogènes avec quand même près d'un quart de causes indéterminées dans les données Epifaune.

**La présence d'hémorragie de la cavité cœlomique est** de loin le couple lésionnel le plus fréquent. Hémorragie pour rappel est un terme regroupant à la fois les hémorragies *stricto sensu* mais aussi toute présence de sang extra vasculaire, hématome, pétéchie, suffusions etc. Près d'un tiers des hémorragies de la cavité cœlomique sont dans la sphère respiratoire : trachée, sacs aériens, para-bronches et bronches. Suivent de peu les hémorragies autour des structures digestives. Dans les deux cas ce sont une majorité d'hémorragies diffuses. Les deux catégories suivantes sont des hémorragies peu spécifiques des cavités. Elles pourraient presque être assimilées aux catégories précédentes. Ensuite viennent les hémorragies cardiaques, des muscles pectoraux et des reins. Finalement la rate, le système uro-génital (hors rein) et les gros vaisseaux type aorte sont les moins fréquemment associés. Dans près de deux tiers des cas d'hémorragies de la cavité cœlomique, les causes de mortalité sont indéterminé et il n'y a pas d'étiologie qui ressorte en priorité. Les lieux de découverte les plus fréquents sont les zones urbaines (26%) puis les zones proches de l'eau (20,6%). Trois couples sont très significativement liés **aux hémorragies de la cavité cœlomique, l'absence d'hémorragie du cou ou de la tête et l'absence de rupture de la cavité cœlomique**.

**Les hémorragies crâniennes** que ce soit des lésions des collections sanguines intra ou extra-crâniennes sont dans plus d'un tiers des cas en milieu urbain.

**Une rupture de la cavité cœlomique**, pour rappel fait référence aux ruptures d'organes de la cavité cœlomique : 68% sont retrouvées en partie crâniale et 32% en partie caudale. Les plus fréquents sont les perforations du tube digestif, ainsi que quelque cas de rupture de lobe hépatique. Viennent ensuite les plaies plus ou moins profondes des muscles pectoraux puis les ruptures/perforations, plaies des sacs aériens et para-bronches et les perforations et déchirures cardiaques. Nous remarquons beaucoup de cas de tir (31,6%) sont dans les causes identifiées de rupture de la cavité cœlomique. Cependant il reste une part non négligeable de rupture d'origine indéterminée (31,6%), traumatique ou non. Parmi les lieux de découverte, 28,6% ne sont pas renseignés. Cela est non négligeable est peu constituer un biais. Parmi les lieux précisés, presque deux fois de rupture de la cavité cœlomique sont retrouvés en prairie et champs de culture (26,5%) qu'en milieu urbain (14,2%).

Si l'on revient à l'association entre **la présence d'hémorragie cœlomique et l'absence de rupture de la cavité (et leur inverse)**, c'est l'association la plus significatives du jeu de données SAGIR. Parmi les 82 cas de rupture (rupture, plaie, perforation des organes externe (peau) ou interne (foie, etc.)), 22 cas présentent aussi des hémorragies de la cavité cœlomique,

soit 7,2% des cas de d'hémorragie cœlomique et 26,8% des cas de rupture. De plus, la **présence de rupture**, tout comme de **fracture de la cavité cœlomique** est opposée à la **présence d'hémorragie du cou ou de la tête**.

**Falconiformes et fracture de la patte** est la seule association très significative concernant l'ordre des Falconiformes. Les *Falconiformes* comprennent dans la base Epifaune les Falconidés et les Accipitridé mais 100% des cas de fracture de la patte concernent des Accipitridés. Les falconiformes regroupent 38% des cas de fracture des pattes avec 6 cas, ce qui ne représente toutefois que 8% des couples lésionnels de cet ordre. Il y a globalement peu de fractures des pattes en général dans la base SAGIR, seulement 16 occurrences. Les six cas en question se répartissent ainsi : deux fractures du fémur, une du tibiotarse et trois de l'articulation tarsométatarsienne. En terme d'origine, un cas a été trouvé près d'une ville, un en forêt (la fracture à l'autopsie serait que secondaire à la mort avec un épuisement majeur de l'animal), un en prairie (une Buse variable avec de multiple fracture, lombaire/aile/tibia tuée par un chien), un en bord de cours d'eau et deux ne sont pas renseignés. Le tir est associé à 17% des cas de fractures de patte et les traumatismes en général (dont le tir) à 50% des cas. Ainsi, même s'il faut le nuancer en fonction des espèces, les *Falconiformes* seraient significativement plus associés aux fractures des pattes que les autres ordres.

**Passériformes et présence d'hémorragie de la tête** est une association très significative. Elle correspond à 33% des cas impliquant des *Passériformes* (n=42), et de même les *Passériformes* constituent la majorité des individus concernés par les hémorragies de la tête avec 53% des cas. Dans la base Epifaune, 90% des cas d'hémorragie de la tête sont des saignements intracrâniens et 10% sont des saignements superficiels et extra-crâniens. Une grande majorité de cas sont d'origine indéterminée (81%), 14% d'origine traumatique avérée et 9% d'origine atraumatique. Parmi ces cas, 57% ont été retrouvés en milieu urbain, tandis que seulement 13% l'ont été en forêt.

## II.C.2 Données issues du centre de soins de l'ENVT

Les quatre différentes séries d'analyses ont permis de mettre en évidence **18 associations très significatives** et 15 associations significatives à partir des données du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT. Parmi ces 33 associations, 14 concernent la matrice aile, 5 les Accipitriiformes et 7 la prédation. Ce sont la matrice, l'ordre et la cause les plus décrits (Tableau 24, Annexe 38).

Tableau 24 Tableau récapitulatif des associations très significatives trouvées à partir des données issues du centre de soins de l'ENVT

| Couple1          | Couple2                      | P-value          |
|------------------|------------------------------|------------------|
| Accipitriiformes | Aile/Fracture                | <b>p&lt;0,01</b> |
| Accipitriiformes | Tir                          | <b>p&lt;0,01</b> |
| Accipitriiformes | Electrisation                | <b>p&lt;0,01</b> |
| Accipitriiformes | Prédation                    | <b>p&lt;0,01</b> |
| Aile/FractureNO  | Ceinture scapulaire/Fracture | <b>p&lt;0,01</b> |

|                  |                                |                  |
|------------------|--------------------------------|------------------|
| Choc objet       | Ceinture scapulaire/Fracture   | <b>0,003</b>     |
| Choc objet       | Aile/FractureNO                | <b>p&lt;0,01</b> |
| Electrisation    | Aile/Rupture                   | <b>p&lt;0,01</b> |
| Passériformes    | Aile/FractureNO                | <b>0,003</b>     |
| Passériformes    | Tir                            | <b>0,003</b>     |
| Passériformes    | Prédation                      | <b>0,005</b>     |
| Patte/Fracture   | Ceinture scapulaire/FractureNO | <b>0,001</b>     |
| Patte/FractureNO | Ceinture scapulaire/Fracture   | <b>0,001</b>     |
| Prédation        | Cavité coelomique/Rupture      | <b>p&lt;0,01</b> |
| Strigiformes     | Choc vehicule                  | <b>0,001</b>     |
| Strigiformes     | Tête/Hémorragie                | <b>p&lt;0,01</b> |
| Tête/Fracture    | Aile/FractureNO                | <b>p&lt;0,01</b> |
| Tir              | Aile/Fracture                  | <b>0,003</b>     |

Les *Accipitriformes* sont associés significativement avec plusieurs causes d'entrée : le tir, les électrisations et la prédation.

***Accipitriformes et prédation*** : cette association est « négative » (ordre associé à l'absence de prédation). Seuls cinq individus sont concernés par une prédation : deux Buses variable et trois Eperviers d'Europe :

Buse variable :

- Elle a peu de prédateurs : Autour des palombes et le Hibou grand-duc
- Elle chasse à l'affût, souvent perchée, donc est peut exposée aux prédateurs terrestres.

Épervier d'Europe :

- Il a plus de prédateurs : certaines espèces de chouettes (Chouette hulotte, Effraie des clochers), certains rapaces diurnes (Autour des palombes, Aigle royal, Faucon pèlerin), des corvidés et quelques mammifères (Renard roux, Fouine, Martre des pins)
- Il a un vol rapide, agile, et poursuit ses proies avec beaucoup de risque de collisions. Il plume ses victimes au sol ou en hauteur avant de les manger.

Ainsi il y a une opposition : les *Accipitriformes* ne sont significativement pas ou peu atteints pas la prédation.

***Accipitriformes et tir*** : le tir concerne 23 individus dont 19 présentent des fractures aux ailes, soit 70% (dont plus de 50% d'atteinte de l'ulna). Cette cause d'entrée traumatique

représente 25% des entrées d'*Accipitriformes*. Bien que ce soit des espèces protégées, ils restent encore beaucoup exposés aux tirs.

***Accipitriformes et électrisation*** : les électrisations concernent huit individus avec 100% d'atteinte des ailes : cinq ruptures et trois fractures. Les ruptures font références à des plaies ou nécroses des ailes. Quatre des huit atteintes des ailes sont associées à des atteintes des pattes controlatérales, de type rupture (plaie). Les espèces concernées sont, la Buse variable, l'Aigle botté (chasseur d'oiseaux), le Circaète Jean le blanc (vol lent, se nourrit de serpents et autres reptiles), l'Épervier d'Europe, le Milan noir (opportuniste et charognard). Toutes ces espèces sont assez susceptibles par leur vol ou type de chasse d'être proches de lignes électriques.

**Les électrisations et la présence de ruptures des ailes** sont associées. Cela semble en accord avec les lésions trouvées sur les *Accipitriformes* associés à cette cause. Cela étant dit, cette cause reste minoritaire avec 10 individus dans l'échantillon (16 hors échantillon) : cependant les 10 ont un patron lésionnel assez similaire.

**Les *Accipitriformes* et la présence de fracture des ailes** : cela correspond à 46% des couples lésionnels de cet ordre (le plus fréquent) avec près de 31% de fractures de l'humérus. Il semble y avoir un lien au moins avec les tirs. En effet les trois variables sont assez proches sur les projections des ACM. De plus si l'on regarde les données, 19 de ces associations sont des cas de tir même s'il ne faut pas occulter les autres causes de fractures d'ailes. Les chocs avec des véhicules (n=16) et les chocs contre des objets fixes (n=10) sont aussi souvent liés à des fractures des ailes. Cependant l'association *Accipitriformes* et choc véhicule ou objet fixe n'apparaît dans aucune analyse comme étant significative. Remarque si on prend en compte l'analyse croisée à partir de tous les *Accipitriformes* de la base de donnée du centre de soins de l'ENVT, l'association avec les collisions routières est très significative (Tableau 22).

**Le tir et la présence de fracture des ailes** : le tir est associé significativement à la présence de fractures des ailes, c'est la lésion retrouvée dans 54% des tirs. Le tir de chasse utilisant souvent des plombs, le cône de dispersion des de plombs pourrait avoir plus de chance de toucher les ailes qui sont une part importante de la surface de l'oiseau. Ainsi cette association (tir et aile fracture) paraît cohérente et une association tir, fracture des ailes et *Accipitriformes* semble plausible.

Les *Passériformes* sont impliqués dans trois associations, avec le tir, la prédation et l'absence de fracture des ailes.

***Passériformes* et l'absence de fracture des ailes** établit un lien entre l'ordre des Passériformes et l'absence de fracture des ailes, sur l'ensemble des cas de l'ordre il n'y a en effet que 40% de cas de fracture des ailes. Ainsi bien que la fracture soit l'atteinte majoritaire des ailes, son absence apparaît significative dans cet ordre.

***Passériformes* et tir** : cette association bien que très significative ne concerne seulement quatre individus. Il n'est donc pas possible d'en tirer des conclusions robustes. Au vu de l'interprétation graphique de l'ACM il est éventuellement possible d'envisager l'opposition entre ces deux variables.

***Passériformes* et prédation**: la prédation est la cause d'entrée principale parmi celles étudiées chez les *Passériformes*. Le Merle noir est le plus concerné avec près de 38% des cas de *Passériformes* atteints de prédation. Par expérience, au centre de soins de la faune sauvage

de l'ENVT, de très nombreux cas de petits passereaux attrapés par des chats domestiques sont recensées annuellement.

Les *Strigiformes* sont impliqués dans deux associations significatives : les collisions avec des véhicules et la présence d'hémorragie de la matrice tête.

**Strigiformes et choc véhicule** : cette cause d'entrée semble cohérente avec le mode de chasse nocturne de ces espèces qui est proche des routes avec parfois un vol assez bas.

**Strigiformes et la présence d'hémorragie de la tête** : les Strigiformes sont significativement associés aux hémorragies de la tête qui représente 23% des lésions de cet ordre, alors qu'en moyenne elles représentent 9% des lésions dans les autres ordres étudiés. Parmi ces hémorragies de la tête, 67% (n=12) concernent des hémorragies ou lésions vasculaires oculaires.

**La présence de fractures des pattes et l'absence de fracture de la ceinture scapulaire (et leur inverse)** est une association très significative. Cela, ainsi que l'association entre les **fractures de la ceinture scapulaire et l'absence de fractures des ailes** laissent suggérer que les fractures appendiculaires seraient peu compatibles avec celles de la ceinture scapulaire. Seul 13% des cas associent ces lésions. L'opposition entre atteinte appendiculaire et axiale est confortée avec les associations significatives entre **rupture des ailes et absence de fracture du crâne et entre la présence d'hémorragie de la tête et l'absence de fracture des ailes**. De plus **la présence de fracture des pattes** est significativement associée **aux fractures des ailes**. Ainsi 27% des fractures des pattes sont associées à une fracture de l'aile. S'il y a une fracture de la patte alors il y a une forte chance qu'en cas d'autre lésion ce soit une fracture de l'aile.

**Fracture de la ceinture scapulaire et choc objets fixes** : les fractures de la ceinture scapulaire sont associées aux collisions avec des structures. Cela représente 20% des lésions de cette cause d'entrée et 45% des fractures scapulaires le sont suite à un choc avec un objet fixe dans l'échantillon. De plus les **collisions avec des objets fixes sont associées à l'absence de fracture des ailes**. Nous avons donc un patron lésionnel qui semble se dessiner avec, les collisions contre des objets fixes associées à des fractures scapulaires et à l'absence de fracture d'aile. **L'absence d'atteintes osseuses des ailes est significativement associée aux atteintes osseuses du crâne**. Cela soutient les associations précédemment décrites. Ainsi l'étude de **l'association choc objet fixe et fracture de la tête** est intéressante, elle a une p-value inférieure à 0,05. **La présence de fracture de la tête va avec la présence de fracture scapulaire** de manière significative ce qui soutient le patron lésionnel entre les collisions avec des objets fixes et la présence de fractures de la tête et de la ceinture scapulaire.

**La prédation associée aux ruptures de la cavité cœlomique** est la dernière association très significative relevée qui correspond dans une grande majorité à des lésions de type plaie, perforation de la cavité et dans une moindre mesure à des ruptures d'organe. Les atteintes de la cavité cœlomique concernent le thorax dans 70% des cas et l'« abdomen » dans les 30% restant, sachant que 38% des ruptures du thorax se situent au niveau des muscles pectoraux et 19% sur la zone dorso-lombaire. Les cas de **prédation sont aussi associés aux ruptures de la tête et des ailes** avec 46% des cas de rupture de la tête dans ce contexte. Ces lésions de ruptures sont à priori différentes de celles causées par une électrocution. Dans le cas de la prédation si on se réfère aux données, 40% des cas sont des atteintes du patagium ou des plumes

(rectrices/rémiges arrachées ou cassées). Pour les électrisations aucune atteinte du patagium ni de plume arrachée ne sont rapportées. Ce sont plutôt des plaies type (brûlures et nécroses (présentes dans un tiers des cas). La prédation engendrerait donc les lésions de ruptures de la cavité cœlomique, des ailes et de la tête.

**Les Accipitriformes sont significativement peu concernés par les fractures de la ceinture scapulaire.**

**Les Columbiformes** sont plus fréquemment concernés par les collisions avec un véhicule que les autres ordres étudiés à l'exception des *Strigiformes*. **Les Columbiformes sont aussi significativement associés à la prédation.** Comme pour les *Passériformes* avec 42% contre 40% des cas de prédation. Chez les Columbiformes, c'est la première cause exæquo avec les chocs contre objets fixes (27%), sachant que la part des chocs contre les véhicules est presque équivalente (26%). Les **ruptures de la cavité cœlomique sont associées aux Columbiformes**. Ce sont 73% d'atteintes du thorax dont 50% au niveau des muscles pectoraux (lacération, plaie) qui sont relevées. Ainsi un patron lésionnel est discernable : *Columbiformes*, prédation et rupture de la cavité cœlomique.

## II.D Analyse des lésions traumatiques chez les chiroptères

L'analyse des cas impliquant des chauves-souris est uniquement descriptive car les échantillons de départ ne sont ni assez grands ni assez homogènes (15 événements dans la base de données Epifaune et 45 dans celle du centre de soins de l'ENVT). Elle s'intéresse aux individus avec des lésions d'origines supposées traumatiques.

### II.D.1 Données issues d'Epifaune

Pour rappel, les données extraites concernant les chiroptères sont réparties en 15 événements et 57 échantillons.

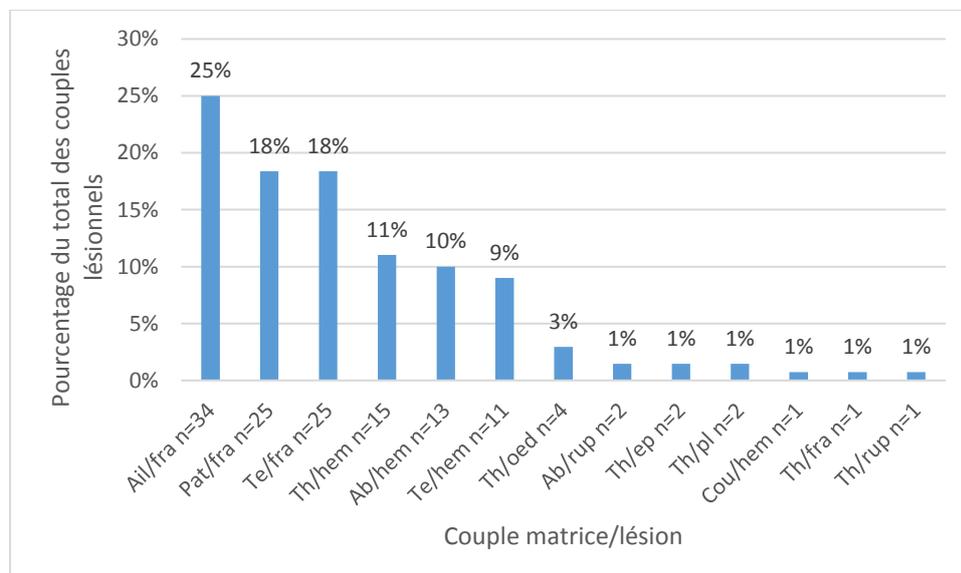


Figure 23 Proportion de chacun des couples lésionnels traumatiques chez les chiroptères de l'échantillon issu d'Epifaune.

Ab = abdomen, Ail = aile, Cou = cou, Pat = patte, Te = Tête, Th = thorax, hem = hémorragie, rup = rupture, fra = fracture, ep = épanchement, oed = œdème, pl = plaie

La lésion la plus fréquente avec près de 25% des cas est la fracture des ailes suivie par la fractures des pattes et du crâne. Les hémorragies du thorax, de l'abdomen et puis de la tête arrivent ensuite. Aucune lésion du patagium n'est rapportée (Figure 23). Il est important de noter que 24 des 34 cas de fractures des ailes, 24 des 25 cas de fractures du crâne et 24 des 25 cas de fractures des pattes proviennent du même évènement (n°120504) qui regroupe 24 individus polytraumatisés trouvés dans un gîte, cas où des lésions post mortem ne sont pas exclues.

## II.D.2 Données issues du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT

Les lésions d'origines traumatiques rassemblent 45 cas et 38 cas sont d'origine indéterminée mais avec lésions pouvant être d'origine traumatique. La prédation est la cause d'entrée traumatique la plus importante avec plus de 75% des cas traumatiques (hors indéterminés)

Tableau 25 Répartition des causes d'entrée traumatiques et d'origines indéterminées des chiroptères apportés au centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT

| Espèces \ Causes d'entrée  | Choc objet fixe | Choc véhicule | Indéterminée    | Prédation       | Total général |
|----------------------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Chauve-souris indéterminée | 20% n=2         |               | 40% n=4         | 40% n=4         | 10            |
| Murin de Daubenton         |                 |               | 100% n=1        |                 | 1             |
| Oreillard gris             |                 |               | 100% n=2        |                 | 2             |
| Oreillard sp.              | 100% n=2        |               |                 |                 | 2             |
| Pipistrelle commune        |                 |               | 67% n=8         | 33% n=4         | 12            |
| Pipistrelle sp.            | 9% n=5          | 4% n=2        | 39% n=21        | 48% n=26        | 54            |
| Rhinolophe sp              |                 |               | 100% n=1        |                 | 1             |
| Sérotine commune           |                 |               | 100% n=1        |                 | 1             |
| <b>Total général</b>       | <b>11% n=9</b>  | <b>2% n=2</b> | <b>46% n=38</b> | <b>41% n=34</b> | <b>83</b>     |

Parmi les neuf cas de collisions avec des objets fixes, sept présentent une atteinte de type fracture osseuse d'une ou plusieurs parties de l'aile, sachant que les deux autres cas ne présentent pas de lésion apparente. Les deux cas de collisions avec une véhicule présentent pour l'un une fracture du doigt II de la main droite et pour l'autre une suspicion de traumatisme crânien. Les cas de prédation concentrent aussi des lésions des ailes avec des ruptures du patagium dans 56% des cas (n=19) et des fractures des ailes dans 53% des cas (n=18). Les atteintes des ailes sont dans 90% des cas des lésions de prédation. Six individus (18%) ont à la fois des ruptures du patagium et des fractures des ailes. Un unique cas de fractures de patte (tibia) est rapporté ainsi que trois cas avec des plaies abdominales. Parmi les 38 cas indéterminés qui présentent des lésions traumatiques ; 10 soit plus de 26%, ont au moins une lésion de rupture du patagium.

## II.E Discussion

### II.E.1 Différences entre les deux jeux de données étudiés

Une différence majeure entre les deux jeux de données réside dans les regroupements lésionnels effectués. Les données Epifaune sont décrites sous forme de 11 couples lésionnels et 6 ordres tandis que les données de l'ENVV en 8 couples et 4 ordres. Cinq couples sont communs aux deux bases, la matrice « cou » n'est présente que dans les données Epifaune et « C sca » uniquement dans celles de l'ENVV. Ces différences ne sont pas volontaires mais ont été induites par les données initiales. De plus les données du centre de soins de l'ENVV sont caractérisées par une troisième dimension d'analyse, les causes traumatiques d'admissions.

Concernant les électrisations nous pourrions nous interroger sur le choix de ne pas inclure les *Falconiformes* qui constituent les deux tiers des entrées de cette catégorie dans les données de l'ENVV. L'ajout de cet ordre aurait pu permettre une bonne caractérisation d'un pattern lésionnel étant donné qu'il y a une surreprésentation de cette cause pour cet ordre. Cependant cela est à nuancer car nous aurions pu introduire un biais lié à l'espèce. Dans quelles mesures est-il possible d'extrapoler les patrons lésionnels d'une espèce à une autre ?

Les données du réseau SAGIR présentent peu de lésions appendiculaires et par contre de nombreuses informations sur les atteintes de la cavité cœlomique. C'est l'inverse pour les données issues de l'ENVV (uniquement deux associations significatives avec la matrice cavité cœlomique). Cela pourrait être dû à l'aspect létal (SAGIR) ou sublétal (ENVV) des lésions.

Plus généralement les différences de résultats entre les données de l'ENVV et SAGIR tiennent du processus d'observation et de diagnostic. Le réseau SAGIR a pour vocation de surveiller les maladies létales qui s'expriment par la mort des animaux, là où le centre de soins l'ENVV reçoit des animaux vivants. Par ailleurs, pour SAGIR, les milieux ruraux sont probablement davantage surveillés du fait de la typologie des observateurs. Les oiseaux arrivant au centre de soins sont probablement plus issus de milieux urbains ou périurbains. Les espèces, les affections et la sévérité des affections diffèrent donc en fonction de SAGIR et l'ENVV, ce qui peut aussi expliquer les différences lésionnelles observées. Elles peuvent aussi s'expliquer par la méthode diagnostique. Les données d'Epifaune sont le fruit d'un examen nécropsique rigoureux et identique pour chaque échantillon. La prise en charge et la description des lésions au centre de soins, bien qu'elle soit globalement uniformisée reste opérateur dépendant. Nous pourrions aussi nous interroger sur le fait que des lésions internes non létales soient omises lors de l'examen clinique ou bien que ces lésions soient mortelles et donc peu représentées au centre de soins où ce sont quasi-exclusivement des animaux blessés mais vivants qui sont amenés.

Les données d'Epifaune sont la synthèse d'informations fournies par des agents de terrain et des différents laboratoires partenaires. Les données cliniques ne sont pas accessibles du fait de la découverte d'animaux déjà morts, ils doivent être déduits du terrain. Il n'y a quasiment jamais de flagrance de traumatisme non plus. Un constat similaire peut être fait concernant les données du centre de soins ; la description lésionnelle d'un cas est faite via une colonne en champ libre qui n'est pas uniformisée. La description par exemple des fractures peut aussi bien être très détaillée que très vague. Le fait que ce soit du champ libre rend la recherche de lésions laborieuse car selon l'examineur, la terminologie ou les abréviations peuvent différer. L'attribution d'une cause d'admission semble plus aisée dans le cadre du centre de soins étant donné que les examinateurs peuvent discuter précisément avec les découvreurs sur

la localisation et les circonstances de découverte. L'attribution d'une cause certaine ne se fait que sur la base d'une quasi-certitude étiologique. C'est entre autres là que semble résider l'intérêt d'une confrontation entre les deux jeux de données. Cependant les modalités d'échantillonnages et les données initiales étant assez différentes, un nombre limité de recoupements est possible.

L'analyse des données sur les chiroptères s'est révélée incomplète car peu d'individus sont concernés et les informations sont aussi très approximatives selon les cas. Une étude rétrospective des cas uniquement de chiroptères pourrait cependant être entreprise.

Enfin, l'impact des contextes utilisés pour collecter les données pourrait avoir son rôle dans les résultats. Par exemple dans le cas du contexte de surveillance influenza aviaire hautement pathogène du réseau SAGIR de nombreux *Ansériformes* ont été collectés ce qui pourrait expliquer la surreprésentation de cet ordre par rapport à certains autres.

Néanmoins ces deux bases sont complémentaires et leur analyse conjointe permet de tirer des conclusions intéressantes.

## II.E.2 Interprétation des associations lésionnelles trouvées et comparaison avec les données de la littérature

### II.E.2.1 Cas de l'étude de l'avifaune

Cette discussion s'intéresse aux associations significatives (p-value inférieure à 0,05) et confronte directement les deux bases de données de l'étude avec la littérature. Les associations considérées comme très significatives ont été regroupées dans un tableau afin de faire mieux apparaître les liens entre-elles (Tableau 26, Annexe 37, Annexe 38).

*Tableau 26 Tableau récapitulatif des résultats très significatifs de l'analyse des données issues d'Epifaune et du centre de soins de l'ENVT, regroupés selon des patrons lésionnels probables. La cohérence biologique des associations est gradée : cohérence non évidente (+), cohérente (++) et très cohérente (+++).*

| Associations   | Cohérence biologique |
|--|----------------------|
| Passériforme avec hémorragie crânienne et absence de fracture de l'aile              | +++                  |
| Choc objet avec fracture de la ceinture scapulaire et absence de fracture de l'aile  | +++                  |
| Fractures de la tête et de la ceinture scapulaire avec absence de fracture de l'aile | +++                  |
| Strigiforme avec choc véhicule et hémorragie crânienne                               | +++                  |
| Accipitriforme et fracture de l'aile et tir  | +++                  |
| Passériforme et absence de tir   | +++                  |
| Accipitriforme et électrisation  | +++                  |
| Electrisation et rupture de l'aile   | +++                  |

|  |     |
|--|-----|
| Falconiforme et fracture de la patte   | +++ |
| Prédation avec Passérimforme et rupture de la cavité cœlomique   | +++ |
| Accipitriforme et absence de prédation   | +++ |
| Fracture du cou avec rupture et hémorragie du cou  | +++ |
| Absence d'hémorragie crânienne avec rupture, fracture ou hémorragie de la cavité cœlomique             | ++  |
| Fracture de la patte et absence de fracture de la ceinture scapulaire (et leur inverse)                | ++  |
| Hémorragie du cou avec absence de rupture et œdème de la cavité cœlomique                              | ++  |
| Hémorragie de la cavité cœlomique avec absence de rupture cœlomique et d'hémorragie du cou             | ++  |
| Absence d'hémorragie du cou avec rupture et hémorragie de la cavité cœlomique                          | ++  |
| Ansériforme avec fracture de l'aile, fracture de la cavité cœlomique ou absence d'hémorragie crânienne | ++  |

Les fractures et rupture de la cavité cœlomique sont associées et sont très significativement opposées à la présence d'hémorragie du crâne dans les données Epifaune. D'un point de vue strictement lésionnel, dans les données issues du centre de soins de l'ENVT, les fractures et atteintes de la tête et de la ceinture scapulaire sont à dissocier des fractures et ruptures appendiculaires. Les atteintes appendiculaires se regroupent entre-elles. Nous retrouvons l'opposition entre la présence de lésions vasculaires ou de fracture du crâne et les fractures des ailes. Dans la littérature, il n'y a pas beaucoup de cas de fractures de la ceinture scapulaire décrits, cependant ils sont toujours rapportés dans des cas de collisions avec des objets fixes et associés à des atteintes de la tête mais jamais du squelette appendiculaire. Cela permet aussi de mieux comprendre pourquoi les atteintes de la cavité cœlomique ne sont pas

associées dans ces cas-là (traumatisme frontaux). Les hémorragies crâniennes que ce soit des collections sanguines intra ou extra-crâniennes sont dans plus d'un tiers des cas en milieu urbain, cela pourrait faire penser à d'éventuelles collisions avec des infrastructures type bâtiment/vitre (...) comme le suggère la littérature (Klem 1990; Cousins et al. 2012; Veltri, Klem 2005).

La littérature décrit aussi un lien, dans un contexte de collisions avec des objets fixes, entre *Passériformes* et *Columbiformes* et fractures du crâne, ainsi qu'avec du jetage sanguin ou de l'hématémèse (Klem 1990; Cousins et al. 2012; Veltri, Klem 2005). Dans la base Epifaune les passériformes sont associés aux lésions vasculaires de la tête. Parmi ces cas, 57% sont retrouvés en milieu urbain, tandis que seulement 13% l'ont été en forêt. La forte proportion de cas urbains pourrait aller dans le sens de collisions avec des infrastructures humaines type vitre, mur, câble, poteau voire même voiture.

Ainsi, les chocs avec des objets fixes causent préférentiellement des fractures de la tête et de la ceinture scapulaire et rarement des fractures des ailes. Les chocs contre des objets fixes (baie vitrée, poteau, bâtiment etc.) se font souvent de face ce qui place la ceinture scapulaire et la tête dans les parties recevant le plus l'impact, à l'inverse de la cavité cœlomique et des ailes et pattes. Les ordres les plus touchés par ces lésions semblent être les *Passériformes* et dans une moindre mesure les *Columbiformes*.

Les hémorragies de la cavité cœlomique sont ainsi opposées à la présence d'hémorragies du crâne. De plus, les modalités rupture et hémorragie de la cavité cœlomique sont opposées. Pour rappel nous avons regroupé les lésions hémorragiques associées directement à des plaies ou des ruptures sous le terme « rupture ». Ainsi les lésions vasculaires de la cavité telles qu'analysées ici sont des hémorragies internes non liées à des ruptures cutanées. Avec ce prisme de lecture nous pouvons en déduire que les lésions vasculaires internes de la cavité sont rarement issues de traumatismes pénétrants de la cavité cœlomique pourraient être liés à l'onde de choc suite à un traumatisme contendant.

La présence de lésions hémorragiques de la cavité cœlomique n'est pas spécifique et on en retrouve (jamais seules) dans les collisions routières (Tschui et al. 2016), les collisions avec des structures fixes (Klem 1990; Cousins et al. 2012) ou lors de piégeages (Munro, Munro 2008). Cela semble être une lésion non spécifique d'un traumatisme mais caractéristique des traumatismes en général.

Les fractures du cou sont associées à des ruptures ou des hémorragies de cette même zone, ce qui paraît cohérent. Les hémorragies du cou sont associées aux œdèmes de la cavité cœlomique mais opposées aux ruptures et hémorragies de cette même zone. Nous pouvons nous demander si une hémorragie du cou avec une inhalation de sang dans les voies aériennes pourrait causer une lésion de type « œdème » pulmonaire sachant que le terme œdème regroupe à la fois les œdèmes *stricto sensu* mais aussi les épanchements. Dans les cas de lésions contendantantes du cou la mort résulte autant de l'embolie gazeuse que de la perte sanguine. Chez un humain, 75 à 250ml d'air suffisent à causer une mort rapide. Nous pouvons donc inférer qu'une bien plus faible quantité est suffisante pour un oiseau (Di Maio, DiMaio 2001). Dans la littérature nous n'avons pas spécifiquement mis en évidence des lésions en région cervicales. Tout comme dans la littérature (Klem 1990) nous n'avons pas mis en évidence d'association entre lésion du cou et collision avec des structures prenant à contrepied les théories de rupture cervicales lors de ces traumatismes.

Les ruptures du cou et de la cavité cœlomique sont associées (Annexe 37). Les résultats très significatifs issus des données de l'ENVT montrent les liens entre prédation et les ruptures des ailes ainsi que de la cavité cœlomique. Les *Galliformes* sont d'ailleurs associés aux ruptures de la cavité cœlomique dans les données Epifaune. Dans la base de données de l'ENVT, à la fois les *Passériformes* et les *Columbiformes* sont associés à la prédation. Cela semble biologiquement cohérent étant donné que ces ordres sont composés d'espèces qui sont les proies d'autres animaux, entre autres des chats qui représentent par exemple dans une étude Nord-américaine la principale cause de mortalité des oiseaux en général (Loss, Will, Marra 2015). La prédation par les chats pourrait être associée à des atteintes de type « rupture » de la cavité cœlomique et des ailes.

Les *Ciconiiformes* sont associés aux fractures de la cavité cœlomique et les *Falconiformes* aux fractures des pattes. Les fractures des pattes peuvent être occasionnées lors de tir (Pankowski et al. 2018), de capture par piège (fracture du tibiotarse préférentiellement) (Munro, Munro 2008). Les fractures des pattes, lorsqu'elles sont seules ne sont donc pas spécifique d'un traumatisme en particulier. Près de 50% des articles consultés concernant les lésions de tir chez les oiseaux décrivent des atteintes des ailes. Les *Accipitriformes*, le tir, les fractures des ailes et l'absence de fractures scapulaires sont associées de manière significative dans les données du centre de soins de l'ENVT.

Les *Accipitriformes* sont associés aussi aux électrisations et aux fractures des ailes et les électrisations sont significativement liées aux ruptures des ailes. Les données issues d'Epifaune révèlent chez les *Falconiformes* (qui incluent les *Accipitriformes* au sens de la base de l'ENVT) des atteintes de type fractures des pattes. Il est important de rappeler le centre de soins de l'ENVT détecte surtout des électrisations (sublétale) tandis que SAGIR détecte des électrisations et des électrocutions (létale) donc possiblement des cas plus sévères. Or 50% des cas d'électrisation de l'ENVT présentent une atteinte des pattes en plus de celle des ailes. De plus les fractures des ailes et des pattes sont positivement associées, ce qui renforce la présence d'un patron lésionnel associant les électrisations, les *Accipitriformes* et les atteintes des ailes et dans une moindre mesure des pattes. Ceci est d'autant plus cohérent que les atteintes des pattes peuvent chez des oiseaux de grande taille (comme les *Ciconiiformes* et les rapaces) être la conséquence d'électrisation (Bevanger 1998). Une électrisation peut mener à des fractures (Schulze et al. 2016), des déformations des pattes (Olson 2002) ou bien des plaies et brûlures des pattes et des ailes, selon les zones de contact et le trajet du courant électrique dans le corps (Kagan 2016; Olson 2002; Schulze et al. 2016; Dees, MacLaren 2013; Munro, Munro 2008; APLIC 2006). Chez les *Accipitriformes*, les fractures des ailes et/ou des pattes, en l'absence de fracture de la ceinture scapulaire peuvent donc être un signe d'appel de tir ou d'électrisation. Ces espèces bien qu'elles soient protégées restent la cible de tirs illégaux (erreurs d'identification ou actes de malveillance délibérés). Leur comportement de chasse les rend d'autant plus à risque, perchées sur des poteaux ou des lignes électriques (APLIC 2006 ; Janss 2000).

Les rapaces nocturnes et les *Columbiformes* sont plus concernés par les collisions routières que les autres. Les *Strigiformes* sont aussi significativement associés aux lésions hémorragiques de la tête. Les traumatismes contendants qui touchent la tête impliquent généralement l'œil et ses structures associées du fait de sa taille chez ces espèces, sa position très frontale et de son manque relatif de protection. Des lésions vasculaires oculaires sont donc fréquentes (Davidson 1997). L'observation d'hémorragie intraoculaire pourrait donc être le

signe d'un choc frontal et en particulier d'un choc avec un véhicule chez les *Strigiformes*. Bien que l'association choc véhicule et hémorragie crânienne soit non significative dans la base de donnée de l'ENVT. Une étude en France révèle que 64% de la mortalité des effraies des clochers (*Tyto alba*) se situe dans des portions de routes surélevées passant dans des champs ouverts, sans délimitation de type haie, bocages (...). Cela serait dû à la trajectoire des oiseaux qui ne prennent alors pas assez d'altitude et sont susceptibles de percuter un véhicule. Les portions de routes encaissées sont aussi un lieu de chasse intéressant car les bordures accueillent de nombreuses proies des chouettes, ce qui attire les rapaces et favorise les collisions de traumatisme (Massemin, Zorn 1998). L'atteinte de la tête et l'association avec les chocs avec véhicules semblent cohérentes avec le mode de chasse nocturne de ces espèces.

Beaucoup de *Columbiformes* sont aussi observés près des bords de routes et leurs atteintes sont bien décrites dans la littérature, cela inclut des fractures appendiculaires et des lésions cutanées (Cousins et al. 2012). Les cas de collisions routières se retrouvent aussi chez les *Passériformes*, il présentent plutôt des fractures appendiculaires (Orłowski, siembieda 2005). Dans les données Epifaune, 46% des cas urbains de *Passériformes* ont été retrouvés à proximité de route et un tiers des cas en forêt étaient à proximité d'une route (<300m) ce qui est cohérent avec de possible collisions routières. En cas de collision routière chez *Columbiformes* et *Passériformes*, on a des fractures appendiculaires. Voir littérature, mais les oiseaux ont des vols plongeants, etc.

Les *Ansériformes* sont associés aux fractures des ailes, aux fractures et œdèmes de la cavité cœlomique. Dans la littérature les fractures de la cavité se traduisent par des fractures des côtes lors de collision routière chez les oiseaux ou bien capture par piège (Lyne 1998; Silva et al. 2018; Munro, Munro 2008). Leur grande charge alaire peut expliquer une DIV trop courte et aussi un manque de manœuvrabilité dans leur vol d'esquive ce qui compatible avec les lésions précédemment citées. Lors d'un choc avec un véhicule l'individu est en vol et ce sont les membres ainsi que les yeux et les côtes dans une moindre mesure qui sont le plus atteints. Il serait envisageable de latéraliser le traumatisme selon la répartition des lésions.

## II.E.2.2 Cas de l'étude des chiroptères

### **Données Epifaune**

La lésion la plus fréquente dans l'échantillon de chiroptères issus d'Epifaune est la présence de fractures des ailes. Ces lésions sont décrites dans la littérature tant lors de la prédation que de collisions (Rollins et al. 2012; Grodsky et al. 2012; Mühldorfer, Speck, Wibbelt 2011).

### **Donnée du centre de soins de l'ENVT**

La prédation est de loin la cause traumatiques d'entrée la plus fréquente dans les données du centre de soins. Les lésions qui y sont le plus associées sont les fractures des ailes et les ruptures de patagium. Ces résultats sont compatibles avec ceux décrit dans la littérature lors de prédation (Mühldorfer, Speck, Wibbelt 2011).

## Conclusion

La caractérisation exacte de la nature d'un traumatisme en se basant uniquement sur les lésions est difficile et souvent incomplète. La prise de commémoratifs précis, l'obtention de cadavres récents et en quantité suffisantes sont d'éléments essentiels à la construction d'un référentiel exhaustif et sûr concernant les lésions traumatiques des oiseaux et des chiroptères sauvages.

Notre étude rétrospective a permis de mettre en évidence des rapprochements entre des lésions, des ordres et parfois des causes traumatiques.

Quelle que soit la base de données, une opposition nette réside entre les atteintes de la cavité cœlomique, des membres et de la tête chez les oiseaux. Les lésions hémorragiques de la cavité cœlomique sont essentiellement internes et sans brèche cutanée ce qui sous-entend la présence de traumatisme contendant.

Les lésions de prédatons seraient à rapprocher de plaies cutanées multiples sur l'ensemble du corps et sont décrites chez les Ansériformes, les Galliformes, les Passériformes et les Columbiformes. Cependant seuls les deux derniers ordres sont significativement associés à de la prédation.

Les rapaces diurnes sont significativement atteints par des tirs ou des électrisations et l'on retrouve plus fréquemment des atteintes appendiculaires osseuses ou tissulaires sans fracture scapulaire. Les rapaces nocturnes présentent préférentiellement des lésions hémorragiques de la tête et sont plus fréquemment impliqués dans des collisions routières.

Les collisions avec des infrastructures engendreraient plutôt des lésions osseuses du crâne et de la ceinture scapulaire sans atteintes des ailes. Les Passériformes présentent significativement plus souvent des lésions vasculaires du crâne, une origine traumatique avec de potentielles collisions est à considérer.

Le manque d'effectifs concernant les chiroptères ne permet qu'une analyse descriptive qui montre la nette prévalence des atteintes des ailes, ce qui est décrit dans plus de 70% de la littérature.

La différence dans les lésions décrites selon la base de données d'origine pourrait s'expliquer par le caractère létale ou non des lésions : les animaux admis en centre de soins sont le plus souvent vivants et notre échantillon ne prend pas en compte les animaux arrivés morts alors que les données Epifaune proviennent d'examen nécropsiques. Néanmoins, les associations mises en évidence pourront servir de piste d'approfondissement pour des études lésionnelles et d'appui au diagnostic lors d'autopsies de cadavres d'oiseaux collectés dans un contexte de surveillance épidémiologique.

## Bibliographie

ALLISON, Taber D, DIFFENDORFER, Jay E, BAERWALD, Erin F, BESTON, Julie A, DRAKE, David, HALE, Amanda M, HEIN, Cris D, HUSO, Manuela M, LOSS, Scott R, LOVICH, Jeffrey E, STRICKLAND, M Dale, WILLIAMS, Kathryn A et WINDER, Virginia L, 2019. Impacts to wildlife of wind energy siting and operation in the United States. *Issues in Ecology*. 2019. n° 21, pp. 25.

ANCILLOTTO, Leonardo, SERANGELI, Maria Tiziana et RUSSO, Danilo, 2013. Curiosity killed the bat: Domestic cats as bat predators. *Mammalian Biology*. septembre 2013. Vol. 78, n° 5, pp. 369-373. DOI 10.1016/j.mambio.2013.01.003.

APLIC, 2006. Suggested Practices for Avian Protection on Power Lines. *Avian Power Line Committee*. 2006. Vol. The State of the Art in 2006, pp. 227.

ARNOLD, Todd W. et ZINK, Robert M., 2011. Collision Mortality Has No Discernible Effect on Population Trends of North American Birds. FENTON, Brock (éd.), *PLoS ONE*. 9 septembre 2011. Vol. 6, n° 9, pp. e24708. DOI 10.1371/journal.pone.0024708.

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. *Current Biology*. août 2008. Vol. 18, n° 16, pp. R695-R696. DOI 10.1016/j.cub.2008.06.029.

BALMORI, Alfonso, 2019. Endangered bird mortality by gunshots: still a current problem. *Biodiversity and Conservation*. août 2019. Vol. 28, n° 10, pp. 2555-2564. DOI 10.1007/s10531-019-01778-9.

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. *Canadian Journal of Zoology*. février 2007. Vol. 85, n° 3, pp. 381-387. DOI 10.1139/Z07-011.

BASILIO, Lay G., MORENO, Daniele J. et PIRATELLI, Augusto J., 2020. Main causes of bird-window collisions: a review. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2020. Vol. 92, n° 1, pp. e20180745. DOI 10.1590/0001-3765202020180745.

BAT CONSERVATION INTERNATIONAL, 2006. The perils of glue traps. *Bats magazine* [en ligne]. Vol. 24, n° 4. Disponible à l'adresse : <https://www.batcon.org/article/the-perils-of-glue-traps/>

BELLEBAUM, J., KORNER-NIEVERGELT, F., DÜRR, T. et MAMMEN, U., 2013. Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. *Journal for Nature Conservation*. décembre 2013. Vol. 21, n° 6, pp. 394-400. DOI 10.1016/j.jnc.2013.06.001.

BERGER, Daniel, 1959. The bal-chatri: a trap for the birds of prey. *Bird banding*. 1959. Vol. 30.

BERNHARDT, Glen E., BLACKWELL, Bradley F., DEVAULT, Travis L. et KUTSCHBACH-BROHL, Lisa, 2010. Fatal injuries to birds from collisions with aircraft reveal anti-predator behaviours: Bird collisions with aircraft. *Ibis*. octobre 2010. Vol. 152, n° 4, pp. 830-834. DOI 10.1111/j.1474-919X.2010.01043.x.

BEVANGER, Kjetil, 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation*. octobre 1998. Vol. 86, n° 1, pp. 67-76. DOI 10.1016/S0006-3207(97)00176-6.

BRADLEY-SIEMENS, N. et BROWER, A. I., 2016. Veterinary Forensics: Firearms and Investigation of Projectile Injury. *Veterinary Pathology*. septembre 2016. Vol. 53, n° 5, pp. 988-1000. DOI 10.1177/0300985816653170.

BURGIN, Connor J, COLELLA, Jocelyn P et KAHN, Philip L, 2018. How many species of mammals are there? *JOURNAL OF MAMMALOGY*. pp. 14. DOI:10.1093/jmammal/gyx147.

CAHOON ROBERT, Lauren, 2022. *Wildlife team treats songbird injured in glue trap* [en ligne]. mai 2022. Cornell University College of Veterinary Medicine. [Consulté le 10 septembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.vet.cornell.edu/news/20220510/wildlife-team-treats-songbird-injured-glue-trap>

CALLAGHAN, Corey T, NAKAGAWA, Shinichi et CORNWELL, William K, 2021. Global abundance estimates for 9,700 bird species. *Proceedings of the National Academy of Science*. pp. 10. DOI 10.1073/pnas.2023170118.

CÁRDENAS, Yvette L., SHEN, Beverly, ZUNG, Lisa et BLUMSTEIN, Daniel T., 2005. Evaluating temporal and spatial margins of safety in galahs. *Animal Behaviour*. décembre 2005. Vol. 70, n° 6, pp. 1395-1399. DOI 10.1016/j.anbehav.2005.03.022.

CLAUSEN, B. et GUDMUNDSSON, F., 1981. Causes of mortality among free-ranging gyrfalcons in iceland. *Journal of Wildlife Diseases*. janvier 1981. Vol. 17, n° 1, pp. 105-109. DOI 10.7589/0090-3558-17.1.105.

CLEVENGER, Anthony P, CHRUSZCZ, Bryan et GUNSON, Kari E, 2003. Spatial patterns and factors influencing small vertebrate fauna road-kill aggregations. *Biological Conservation*. janvier 2003. Vol. 109, n° 1, pp. 15-26. DOI 10.1016/S0006-3207(02)00127-1.

COUSINS, Rachael A., BATTLE, Phil F., GARTRELL, Brett D. et POWLESLAND, Ralph G., 2012. Impact injuries and probability of survival in a large semiurban endemic pigeon in New Zealand, hemiphaga novaeseelandiae. *Journal of Wildlife Diseases*. juillet 2012. Vol. 48, n° 3, pp. 567-574. DOI 10.7589/0090-3558-48.3.567.

CRAWFORD, R. L. et WILSON BAKER, W., 1981. Bats Killed at a North Florida Television Tower: A 25-Year Record. *Journal of Mammalogy*. 20 août 1981. Vol. 62, n° 3, pp. 651-652. DOI 10.2307/1380421.

CRESPO, Jorge, SOLÍS, Iris et BARBA, Emilio, 2020. Illegal Bird Hunting in Eastern Spain: A Declining Trend, But Still Worrying. *Ardeola* [en ligne]. 12 octobre 2020. Vol. 68, n° 1. [Consulté le 14 septembre 2022]. DOI 10.13157/arla.68.1.2021.ra10. Disponible à l'adresse : <https://bioone.org/journals/ardeola/volume-68/issue-1/arla.68.1.2021.ra10/Illegal-Bird-Hunting-in-Eastern-Spain--A-Declining-Trend/10.13157/arla.68.1.2021.ra10.full>

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. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 21 octobre 2014. Vol. 111, n° 42, pp. 15126-15131. DOI 10.1073/pnas.1406672111.

DAHL, Espen Lie, BEVANGER, Kjetil, NYGÅRD, Torgeir, RØSKAFT, Eivin et STOKKE, Bård G., 2012. Reduced breeding success in white-tailed eagles at Smøla windfarm, western Norway, is caused by mortality and displacement. *Biological Conservation*. janvier 2012. Vol. 145, n° 1, pp. 79-85. DOI 10.1016/j.biocon.2011.10.012.

D'AMICO, M., ROMÁN, J., DE LOS REYES, L. et REVILLA, E., 2015. Vertebrate road-kill patterns in Mediterranean habitats: Who, when and where. *Biological Conservation*. novembre 2015. Vol. 191, pp. 234-242. DOI 10.1016/j.biocon.2015.06.010.

DAVIDSON, Michael, 1997. Ocular consequences of trauma in raptors. *Seminars in Avian and Exotic Pet Medicine*. juillet 1997. Vol. 6, n° 3, pp. 121-130. DOI 10.1016/S1055-937X(97)80019-9.

DECORS, Anouk, DESVAUX, Stéphanie, PAYNE, Ariane, HIVERT, Lorette, CARDOSO, Olivier, BRULEZ, Marion, GAUTHIER, Dominique et FAURE, Eva, 2022. Le réseau SAGIR, la surveillance au carrefour des enjeux. *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation*. 2022. Vol. 95, n° 5, pp. 1-9.

DECORS, Anouk, HARS, Jean, FAURE, Eva, QUINTAINE, Thomas, CHOLLET, Jean-Yves et ROSSI, Sophie, 2015. Le réseau Sagir : un outil de vigilance vis à-vis des agents pathogènes exotiques. *Bulletin épidémiologique santé animale-alimentation*. janvier 2015. N° 66, pp. 35-39.

DEEM, Sharon L., TERRELL, Scott P. et FORRESTER, Donald J., 1998. A Retrospective Study of Morbidity and Mortality of Raptors in Florida: 1988-1994. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. 1998. Vol. 29, n° 2, pp. 160-164.

DEES, D. Dustin et MACLAREN, Nicole E., 2013. Presumptive electric cataracts in a Great Horned owl (*Bubo virginianus*): electric cataracts in a great horned owl. *Veterinary Ophthalmology*. janvier 2013. Vol. 16, n° 1, pp. 73-76. DOI 10.1111/j.1463-5224.2012.01013.x.

DESCALZO, Esther, CAMARERO, Pablo R., SÁNCHEZ-BARBUDO, Inés S., MARTINEZ-HARO, Mónica, ORTIZ-SANTALIESTRAS, Manuel E., MORENO-OPO, Rubén et MATEO, Rafael, 2021. Integrating active and passive monitoring to assess sublethal effects and mortality from lead poisoning in birds of prey. *Science of The Total Environment*. janvier 2021. Vol. 750, pp. 142260. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.142260.

DESMARCHELIER, Marion, SANTAMARIA-BOUVIER, Ariane, FITZGÉRALD, Guy et LAIR, Stéphane, 2010. Mortality and morbidity associated with gunshot in raptorial birds from the province of Quebec: 1986 to 2007. . 2010. Vol. 51, pp. 5.

DEVAULT, Travis L., BLACKWELL, Bradley F., SEAMANS, Thomas W., LIMA, Steven L. et FERNÁNDEZ-JURICIC, Esteban, 2014. Effects of Vehicle Speed on Flight Initiation by Turkey Vultures: Implications for Bird-Vehicle Collisions. IWANIUK, Andrew (éd.), *PLoS ONE*. 4 février 2014. Vol. 9, n° 2, pp. e87944. DOI 10.1371/journal.pone.0087944.

DEVAULT, Travis L., BLACKWELL, Bradley F., SEAMANS, Thomas W., LIMA, Steven L. et FERNÁNDEZ-JURICIC, Esteban, 2015. Speed kills: ineffective avian escape responses to oncoming vehicles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 22 février 2015. Vol. 282, n° 1801, pp. 20142188. DOI 10.1098/rspb.2014.2188.

DI MAIO, Vincent J. M. et DIMAIO, Dominick J., 2001. *Forensic pathology*. 2. ed. Boca Raton : CRC Press. Practical aspects of criminal and forensic investigations series. ISBN 978-0-8493-0072-1.

DREWITT, Allan L. et LANGSTON, Rowena H.W., 2008. Collision Effects of Wind-power Generators and Other Obstacles on Birds. *Annals of the New York Academy of Sciences*. juin 2008. Vol. 1134, n° 1, pp. 233-266. DOI 10.1196/annals.1439.015.

DUERR, Adam E., MILLER, Tricia A., LANZONE, Michael, BRANDES, Dave, COOPER, Jeff, O'MALLEY, Kieran, MAISONNEUVE, Charles, TREMBLAY, Junior et KATZNER, Todd, 2012. Testing an Emerging Paradigm in Migration Ecology Shows Surprising Differences in Efficiency between Flight Modes. ROBERT-COUDERT, Yan (éd.), *PLoS ONE*. 25 avril 2012. Vol. 7, n° 4, pp. e35548. DOI 10.1371/journal.pone.0035548.

ECKE, Frauke, SINGH, Navinder J., ARNEMO, Jon M., BIGNERT, Anders, HELANDER, Björn, BERGLUND, Åsa M. M., BORG, Hans, BRÖJER, Caroline, HOLM, Karin, LANZONE, Michael, MILLER, Tricia, NORDSTRÖM, Åke, RÄIKÖNEN, Jannikke, RODUSHKIN, Iliia, ÅGREN, Erik et HÖRNFELDT, Birger, 2017. Sublethal Lead Exposure Alters Movement Behavior in Free-Ranging Golden Eagles. *Environmental Science & Technology*. 16 mai 2017. Vol. 51, n° 10, pp. 5729-5736. DOI 10.1021/acs.est.6b06024.

ELMORE, Jared A., HAGER, Stephen B., COSENTINO, Bradley J., O'CONNELL, Timothy J., RIDING, Corey S., ANDERSON, Michelle L., BAKERMANS, Marja H., BOVES, Than J., BRANDES, David, BUTLER, Eric M., BUTLER, Michael W., CAGLE, Nicolette L., CALDERÓN-PARRA, Rafael, CAPPARELLA, Angelo P., CHEN, Anqi, CIPOLLINI, Kendra, CONKEY, April A.T., CONTRERAS, Thomas A., COOPER, Rebecca I., CORBIN, Clay E., CURRY, Robert L., DOSCH, Jerald J., DYSON, Karen L., FRASER, Erin E., FURBUSH, Ross A., HAGEMEYER, Natasha D. G., HOPFENSBERGER, Kristine N., KLEM, Daniel, LAGO, Elizabeth A., LAHEY, Ally S., MACHTANS, Craig S., MADOSKY, Jessa M., MANESS, Terri J., MCKAY, Kelly J., MENKE, Sean B., OCAMPO-PEÑUELA, Natalia, ORTEGA-ÁLVAREZ, Rubén, PITT, Amber L., PUGA-CABALLERO, Aura, QUINN, John E., ROTH, Amber M., SCHMITZ, Ryan T., SCHNURR, Jaclyn L., SIMMONS, Matthew E., SMITH, Alexis D., VARIAN-RAMOS, Claire W., WALTERS, Eric L., WALTERS, Lindsey A., WEIR, Jason T., WINNETT-MURRAY, Kathy, ZURIA, Iriana, VIGLIOTTI, Jesse et LOSS, Scott R., 2021. Correlates of bird collisions with buildings across three North American countries. *Conservation Biology*. avril 2021. Vol. 35, n° 2, pp. 654-665. DOI 10.1111/cobi.13569.

ERICKSON, Wallace P, JOHNSON, Gregory D et JR, David P Young, 2005. A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. *Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference. 2002 March 20-24; Asilomar, California, Volume 2 Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191. Albany, CA: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station*. 2005. pp. 1029-1042.

ERRITZOE, Johannes, MAZGAJSKI, Tomasz D. et REJT, Łukasz, 2003. Bird Casualties on European Roads — A Review. *Acta Ornithologica*. décembre 2003. Vol. 38, n° 2, pp. 77-93. DOI 10.3161/068.038.0204.

FARINA, Lisa L. et LANKTON, Julia S., 2018. Chiroptera. In : *Pathology of Wildlife and Zoo Animals* [en ligne]. Elsevier. pp. 607-633. [Consulté le 14 mars 2022]. ISBN 978-0-12-

805306-5. Disponible à l'adresse :  
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128053065000250>

FORNAZARI, Gabrielle Adad, SALDANHA, André, LANGE, Rogerio Ribas, FROES, Tilde, KLEM, Daniel, MOORE, Bret A. et MONTIANI-FERREIRA, Fabiano, 2021. Window Collisions by Birds in Brazil: Epidemiologic Factors and Radiographic and Necropsy Assessments. *Journal of Avian Medicine and Surgery* [en ligne]. 30 septembre 2021. Vol. 35, n° 3. [Consulté le 20 novembre 2022]. DOI 10.1647/20-00009. Disponible à l'adresse : <https://bioone.org/journals/journal-of-avian-medicine-and-surgery/volume-35/issue-3/20-00009/Window-Collisions-by-Birds-in-Brazil--Epidemiologic-Factors-and/10.1647/20-00009.full>

GAISLER, Jiří, ŘEHÁK, Zdeněk et BARTONIČKA, Tomáš, 2009. Bat casualties by road traffic (Brno-Vienna). *Acta Theriologica*. juin 2009. Vol. 54, n° 2, pp. 147-155. DOI 10.1007/BF03193170.

GARVIN, Julia C., JENNELLE, Christopher S., DRAKE, David et GRODSKY, Steven M., 2011. Response of raptors to a windfarm: Raptor behaviour within a windfarm. *Journal of Applied Ecology*. février 2011. Vol. 48, n° 1, pp. 199-209. DOI 10.1111/j.1365-2664.2010.01912.x.

GRILO, Clara, KOROLEVA, Elena, ANDRÁŠIK, Richard, BÍL, Michal et GONZÁLEZ-SUÁREZ, Manuela, 2020. Roadkill risk and population vulnerability in European birds and mammals. *Frontiers in Ecology and the Environment*. août 2020. Vol. 18, n° 6, pp. 323-328. DOI 10.1002/fee.2216.

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. *Journal of Mammalogy*. 14 octobre 2011. Vol. 92, n° 5, pp. 917-925. DOI 10.1644/10-MAMM-A-404.1.

GRODSKY, Steven M., JENNELLE, Christopher S., DRAKE, David et VIRZI, Thomas, 2012. Bat mortality at a wind-energy facility in southeastern Wisconsin. *Wildlife Society Bulletin*. décembre 2012. Vol. 36, n° 4, pp. 773-783. DOI 10.1002/wsb.191.

HEUCK, Christian, HERRMANN, Christof, LEVERS, Christian, LEITÃO, Pedro J., KRONE, Oliver, BRANDL, Roland et ALBRECHT, Jörg, 2019. Wind turbines in high quality habitat cause disproportionate increases in collision mortality of the white-tailed eagle. *Biological Conservation*. août 2019. Vol. 236, pp. 44-51. DOI 10.1016/j.biocon.2019.05.018.

HEUCK, Christian, HERRMANN, Christof, WENDT, Juliane, KRONE, Oliver, BRANDL, Roland et ALBRECHT, Jörg, 2020. Sex- but not age-biased wind turbine collision mortality in the White-tailed Eagle *Haliaeetus albicilla*. *Journal of Ornithology*. juillet 2020. Vol. 161, n° 3, pp. 753-757. DOI 10.1007/s10336-020-01757-w.

HIVERT, Lorette, 2020. Epifaune: la base de donnée en quelques chiffres. *SAGIR info*. janvier 2020. N° Lettre n°187, pp. 3-5.

HODOS, 2003. *Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines Period of Performance: July 12, 1999 – August 31, 2002*. 2003. National Renewable Energy Laboratory.

HUSBY, Magne, 2016. Factors affecting road mortality in birds. *Ornis Fennica*. 2016. Vol. 93, pp. 13.

JACKSON, Erin K., ELMORE, Jared A., LOSS, Scott R., WINGER, Benjamin M. et DAKIN, Roslyn, 2020. *Flight morphology and visual obstruction predict collision risk in birds* [en ligne]. preprint. *Animal Behavior and Cognition*. [Consulté le 30 septembre 2021]. Disponible à l'adresse : <http://biorxiv.org/lookup/doi/10.1101/2020.07.20.212985>

JAIN, Aaftab Ashok, 2005. *Bird and bat behavior and mortality at a northern Iowa windfarm* [en ligne]. Master of Science. Iowa State University. [Consulté le 14 mars 2022]. Disponible à l'adresse : <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/19115>

JANSS, Guyonne F E, 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation*. 2000. pp. 7. PII: S0006-3207(00)00021-5.

KAGAN, R. A., 2016. Electrocutation of Raptors on Power Lines: A Review of Necropsy Methods and Findings. *Veterinary Pathology*. septembre 2016. Vol. 53, n° 5, pp. 1030-1036. DOI 10.1177/0300985816646431.

KAHLE, Logan Q., FLANNERY, Maureen E. et DUMBACHER, John P., 2016. Bird-Window Collisions at a West-Coast Urban Park Museum: Analyses of Bird Biology and Window Attributes from Golden Gate Park, San Francisco. LONGCORE, Travis (éd.), *PLOS ONE*. 5 janvier 2016. Vol. 11, n° 1, pp. e0144600. DOI 10.1371/journal.pone.0144600.

KIM, Taeil et KWON, Youngsam, 2016. Bone Fractures in Raptors in the Daegu-Gyeongbuk Region. *Journal of Veterinary Clinics*. 31 octobre 2016. Vol. 33, n° 5, pp. 261. DOI 10.17555/jvc.2016.10.33.5.261.

KLEM, Daniel, 1990. Bird injuries, cause of death, and recuperation from collisions with windows. *J. Field Ornithol Winter*. 1990. pp. 5.

KOMNENOU, A. Th, GEORGOPOULOU, I., SAVVAS, I. et DESSIRIS, A., 2005. A retrospective study of presentation, treatment, and outcome of free-ranging raptors in Greece (1997–2000). *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*. juin 2005. Vol. 36, n° 2, pp. 222-228. DOI 10.1638/04-061.1.

KRIJGSVELD, Karen L., AKERSHOEK, Kirsten, SCHENK, Femke, DIJK, Femke et DIRKSEN, Sjoerd, 2009. Collision Risk of Birds with Modern Large Wind Turbines. *Ardea*. octobre 2009. Vol. 97, n° 3, pp. 357-366. DOI 10.5253/078.097.0311.

*Larousse dictionnaire*, 2022. . Paris, France : Hachette livre. Editions Larousse.

LEGAGNEUX, Pierre et DUCATEZ, Simon, 2013. European birds adjust their flight initiation distance to road speed limits. *Biology Letters*. 23 octobre 2013. Vol. 9, n° 5, pp. 20130417. DOI 10.1098/rsbl.2013.0417.

LESIŃSKI, Grzegorz, 2007. Bat road casualties and factors determining their number. *mammalia* [en ligne]. 1 janvier 2007. Vol. 71, n° 3. [Consulté le 15 septembre 2022]. DOI 10.1515/MAMM.2007.020. Disponible à l'adresse : <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/MAMM.2007.020/html>

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

LOSS, Scott R, DORNING, Monica A et DIFFENDORFER, Jay E, 2019. Biases in the Literature on Direct Wildlife Mortality from Energy Development. *BioScience*. 1 mai 2019. Vol. 69, n° 5, pp. 348-359. DOI 10.1093/biosci/biz026.

LOSS, Scott R., WILL, Tom, LOSS, Sara S. et MARRA, Peter P., 2014. Bird–building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability. *The Condor*. 1 février 2014. Vol. 116, n° 1, pp. 8-23. DOI 10.1650/CONDOR-13-090.1.

LOSS, Scott R., WILL, Tom et MARRA, Peter P., 2015. Direct Mortality of Birds from Anthropogenic Causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 4 décembre 2015. Vol. 46, n° 1, pp. 99-120. DOI 10.1146/annurev-ecolsys-112414-054133.

LPO, 2022. *Un Circaète Jean-le-Blanc, oiseau protégé, victime de tir en Isère* [en ligne]. 26 août 2022. LPO AuRA. [Consulté le 14 septembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.lpo.fr/lpo-locales/lpo-aura/actus-aura/actus-aura-2022/un-circaete-jean-le-blanc-oiseau-protege-victime-de-tir-en-isere>

LYNE, Karina, 1998. Is there a bird strike syndrome? : preliminary results from autopsy findings. *International bird strike committee*. 1998. pp. 18.

MARTIN, L., 2011. Is the fruit you eat flying-fox friendly? The effects of orchard electrocution grids on Australian flyingfoxes (*Pteropus* spp., Megachiroptera). In : *The Biology and Conservation of AustralAsian Bats*. Royal Zoological Society of New South Wales. pp. 380-390.

MASSEMIN, Sylvie et ZORN, Thierry, 1998. Highway Mortality of Barn Owls in Northeastern France. *Journal of Raptor Research*. 3 septembre 1998. Vol. 32, pp. 229-232.

MATT, Crystal L., DI GIROLAMO, Nicola, HALLMAN, Ruth M., BAILEY, Keith L., O'CONNELL, Timothy J. et BRANDÃO, João, 2022. Diagnostic accuracy of seven radiographic views, alone and in combination, for diagnosis of pectoral girdle fractures in wild passerines after window collisions. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 15 mars 2022. Vol. 260, n° 6, pp. 628-633. DOI 10.2460/javma.20.11.0642.

MELERO, Mar, GONZÁLEZ, Fernando, NICOLÁS, Olga, LÓPEZ, Irene, JIMÉNEZ, María, JATO-SÁNCHEZ, Susana et SÁNCHEZ-VIZCAÍNO, José, 2013. Detection and assessment of electrocution in endangered raptors by infrared thermography. *BMC Veterinary Research*. 2013. Vol. 9, n° 1, pp. 149. DOI 10.1186/1746-6148-9-149.

MIAO, Ruiqing, GHOSH, Prasenjit N., KHANNA, Madhu, WANG, Weiwei et RONG, Jian, 2019. Effect of wind turbines on bird abundance: A national scale analysis based on fixed effects models. *Energy Policy*. septembre 2019. Vol. 132, pp. 357-366. DOI 10.1016/j.enpol.2019.04.040.

MOLINA-LÓPEZ, Rafael A., CASAL, Jordi et DARWICH, Laila, 2011. Causes of Morbidity in Wild Raptor Populations Admitted at a Wildlife Rehabilitation Centre in Spain from 1995-2007: A Long Term Retrospective Study. BROWN, Justin David (éd.), *PLoS ONE*. 23 septembre 2011. Vol. 6, n° 9, pp. e24603. DOI 10.1371/journal.pone.0024603.

MORISHITA, Teresa Y., FULLERTON, Asta T., LOWENSTINE, Linda J., GARDNER, Ian A. et BROOKS, Dale L., 1998. Morbidity and Mortality in Free-Living Raptorial Birds of Northern California: A Retrospective Study, 1983-1994. *Journal of Avian Medicine and Surgery*. 1998. Vol. 12, n° 2, pp. 78-81.

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. FOOKS, Anthony R. (éd.), *PLoS ONE*. 28 décembre 2011. Vol. 6, n° 12, pp. e29773. DOI 10.1371/journal.pone.0029773.

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

MUNRO, Randal et MUNRO, Helen M. C., 2008. *Animal abuse and unlawful killing: forensic veterinary pathology*. Edinburgh : Saunders Elsevier. ISBN 978-0-7020-2878-6.

NALDO, Jesus L. et SAMOUR, Jaime H., 2004. Causes of Morbidity and Mortality in Falcons in Saudi Arabia. *Journal of Avian Medicine and Surgery*. décembre 2004. Vol. 18, n° 4, pp. 229-241. DOI 10.1647/2002-013.

OFB, 2022. Le réseau SAGIR. *Office français de la biodiversité* [en ligne]. 2022. [Consulté le 20 octobre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.ofb.gouv.fr/le-reseau-sagir>

OLSON, Chad V., 2002. *Human-related causes of raptor mortality in western Montana: things are not always as they seem*. 2002. Avian interactions with utility and communication structures. Proceedings of a workshop, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1999 Dec 2-3; Charleston, SC, p.299-322.

ORŁOWSKI, Grzegorz et SIEMBIEDA, Jan, 2005. Skeletal Injuries of Passerines Caused by Road Traffic. *Acta Ornithologica*. juillet 2005. Vol. 40, n° 1, pp. 15-19. DOI 10.3161/068.040.0106.

O'SHEA, Thomas J., CRYAN, Paul M., HAYMAN, David T.S., PLOWRIGHT, Raina K. et STREICKER, Daniel G., 2016. Multiple mortality events in bats: a global review: Multiple mortality events in bats. *Mammal Review*. juillet 2016. Vol. 46, n° 3, pp. 175-190. DOI 10.1111/mam.12064.

PANKOWSKI, Filip, BOGIEL, Grzegorz, PAŚKO, Sławomir, RZEPIŃSKI, Filip, MISIEWICZ, Joanna, STASZAK, Alfred, BONECKA, Joanna, DZIERŻĘCKA, Małgorzata et BARTYZEL, Bartłomiej J., 2018. Fatal gunshot injuries in the common buzzard *Buteo buteo* L. 1758 – imaging and ballistic findings. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. décembre 2018. Vol. 14, n° 4, pp. 526-530. DOI 10.1007/s12024-018-0017-4.

PINTO, Antonio, RUSSO, Anna, REGINELLI, Alfonso, IACOBELLIS, Francesca, DI SERAFINO, Marco, GIOVINE, Sabrina et ROMANO, Luigia, 2019. Gunshot Wounds: Ballistics and Imaging Findings. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. février 2019. Vol. 40, n° 1, pp. 25-35. DOI 10.1053/j.sult.2018.10.018.

RESSEL, L, HETZEL, U et RICCI, E, 2016. Blunt Force Trauma in Veterinary Forensic Pathology. *Veterinary Pathology*. pp. 21. DOI: 10.1177/0300985816653988.

RODRÍGUEZ, Beneharo, RODRÍGUEZ, Airam, SIVERIO, Felipe et SIVERIO, Manuel, 2010. Causes of Raptor Admissions to a Wildlife Rehabilitation Center in Tenerife (Canary Islands). *Journal of Raptor Research*. mars 2010. Vol. 44, n° 1, pp. 30-39. DOI 10.3356/JRR-09-40.1.

ROLLAN, Àlex, REAL, Joan, BOSCH, Rafel, TINTÓ, Albert et HERNÁNDEZ-MATÍAS, Antonio, 2010. Modelling the risk of collision with power lines in Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* and its conservation implications. *Bird Conservation International*. septembre 2010. Vol. 20, n° 3, pp. 279-294. DOI 10.1017/S0959270910000250.

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? *Veterinary Pathology*. mars 2012. Vol. 49, n° 2, pp. 362-371. DOI 10.1177/0300985812436745.

ROSE, Paul et BAILLIE, Stephen, 1989. The effect of collisions with overhead lines on British birds: an analysis of ringing recoveries. *British Trust for Ornithology*. mars 1989. N° 42.

SCHULZE, C., PETERS, M., BAUMGÄRTNER, W. et WOHLSEIN, P., 2016. Electrical Injuries in Animals: Causes, Pathogenesis, and Morphological Findings. *Veterinary Pathology*. septembre 2016. Vol. 53, n° 5, pp. 1018-1029. DOI 10.1177/0300985816643371.

SERUCA, Cristina, MOLINA-LÓPEZ, Rafael, PEÑA, Teresa et LEIVA, Marta, 2012. Ocular consequences of blunt trauma in two species of nocturnal raptors (*Athene noctua* and *Otus scops*): Ocular Consequences Of Blunt Trauma In Raptors. *Veterinary Ophthalmology*. juillet 2012. Vol. 15, n° 4, pp. 236-244. DOI 10.1111/j.1463-5224.2011.00976.x.

SILVA, L.T.R., SILVA, J.S.A., REGUEIRA, R.F.S., ROLIM, V.P.M., BARROS, M.R. et OLIVEIRA, A.A.F., 2018. Aspecto médico veterinário legal das lesões em aves silvestres promovidas por colisões com aeronaves. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. janvier 2018. Vol. 70, n° 1, pp. 321-326. DOI 10.1590/1678-4162-9513.

SORCHA, Sheehy, 2005. Bird strike syndrome: towards developing an index of bird injury. *International bird strike committee*. 2005. pp. 8.

TIDEMANN, Christopher R. et NELSON, John E., 2011. Life Expectancy, Causes of Death and Movements of the Grey-Headed Flying-Fox ( *Pteropus poliocephalus* ) Inferred from Banding. *Acta Chiropterologica*. décembre 2011. Vol. 13, n° 2, pp. 419-429. DOI 10.3161/150811011X624901.

TSCHUI, J., FEDDERN, N., SCHWENDENER, N., CAMPANA, L., UTZ, S., SCHWEIZER, M., JACKOWSKI, C. et ZECH, W. D., 2016. When the prey gets too big: an uncommon road accident involving a motorcyclist, a car and a bird. *International Journal of Legal Medicine*. mars 2016. Vol. 130, n° 2, pp. 463-467. DOI 10.1007/s00414-015-1188-0.

UICN, 2016. *Le déclin des oiseaux nicheurs se poursuit en France : un tiers des espèces aujourd'hui menacé - Communiqué de presse - 28 septembre 2016*. 2016. Paris, France.

UICN FRANCE, 2017. *Une espèce de mammifère sur trois désormais menacée ou quasi menacée en France métropolitaine - Communiqué de presse - 15 novembre 2017*. 2017. Paris, France.

UICN FRANCE, MNHN, SFPEM et ONCFS, 2017. *La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine*. [en ligne]. 2017. Paris, France. Disponible à l'adresse : <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2017/11/liste-rouge-mammiferes-de-france-metropolitaine.pdf>

UICN, MNHN, LPO, SEOF et ONCFS, 2016. *La Liste rouge des espèces menacées en France Oiseaux de France métropolitaine* [en ligne]. 2016. Paris, France. Disponible à l'adresse : <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/09/Liste-rouge-Oiseaux-de-France-metropolitaine.pdf>

VASIU, Iosif, OBER, Ciprian, MUREȘAN, Cosmin, LĂCĂTUȘ, Radu, OANA, Liviu, DĄBROWSKI, Roman et PEȘTEAN, Cosmin, 2020. Retrograde long bone intramedullary pinning in wing fractures of the common buzzard. *Medycyna Weterynaryjna*. 2020. Vol. 76, n° 10, pp. 6453-2020. DOI 10.21521/mw.6453.

VELTRI, Carl J. et KLEM, Daniel, 2005. Comparison of fatal bird injuries from collisions with towers and windows. *Journal of Field Ornithology*. avril 2005. Vol. 76, n° 2, pp. 127-133. DOI 10.1648/0273-8570-76.2.127.

VINER, Tabitha C. et KAGAN, Rebecca A., 2021. Lead Exposure is Unrelated to Wind Turbine Mortality in Golden Eagles. *Wildlife Society Bulletin*. juin 2021. Vol. 45, n° 2, pp. 244-248. DOI 10.1002/wsb.1197.

VINER, Tabitha C., KAGAN, Rebecca A. et JOHNSON, Jennifer L., 2014. Using an alternate light source to detect electrically singed feathers and hair in a forensic setting. *Forensic Science International*. janvier 2014. Vol. 234, pp. e25-e29. DOI 10.1016/j.forsciint.2013.10.033.

VISSER, Marike, HESPEL, Adrien-Maxence, DE SWARTE, Marie et BELLAH, Jamie R., 2015. Use of a caudoventral-craniodorsal oblique radiographic view made at 45° to the frontal plane to evaluate the pectoral girdle in raptors. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. novembre 2015. Vol. 247, n° 9, pp. 1037-1041. DOI 10.2460/javma.247.9.1037.

WALDIEN, David L., COOLEY, Miranda M., WEIKEL, Jennifer, HAYES, John P., MAGUIRE, Chris C., MANNING, Tom et MAIER, Thomas J., 2004. Incidental captures of birds in small-mammal traps: a cautionary note for interdisciplinary studies. *Wildlife Society Bulletin*. décembre 2004. Vol. 32, n° 4, pp. 1260-1268. DOI 10.2193/0091-7648(2004)032[1260:ICOBIS]2.0.CO;2.

WASCHER, Sven, JANISCH, Andreas et SATTLER, Manfred, 1988. Verkehrstrassen-Todesfallen der Avifauna. . 1988. Vol. Luscinia, n° 46, pp. 41-55.

WENDELL, Michelle D., SLEEMAN, Jonathan M. et KRATZ, Gail, 2002. Retrospective study of morbidity and mortality of raptors admitted to Colorado state university veterinary teaching hospital during 1995 to 1998. *Journal of Wildlife Diseases*. janvier 2002. Vol. 38, n° 1, pp. 101-106. DOI 10.7589/0090-3558-38.1.101.

WOBESER, G., GILLESPIE, M. et WYATT, T., 2005. Mortality of Geese as a Result of Collision with the Ground. *Journal of Wildlife Diseases*. avril 2005. Vol. 41, n° 2, pp. 463-466. DOI 10.7589/0090-3558-41.2.463.

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. *Mammal Review*. juin 2003. Vol. 33, n° 2, pp. 174-188. DOI 10.1046/j.1365-2907.2003.00017.x.

## **Annexe**

| Causes                     | Equations  | Chronologie   | Moteur recherche  |
|----------------------------|--|---|---|
| Choc objet fixe            | <p>(1) glass collision bird n=16, n=58, n=1</p> <p>(2) TS=((bird* OR avian*) AND (accident* OR strike* OR collision* OR tower* OR glass* OR *building* OR window*) AND (lesion* OR bone* OR fracture* OR "skeletal attempt" OR trauma* OR "post mortem" OR forensic* OR "impact injuries")) n=415, n=300, n=260</p>  | <p>(1) Juillet 2021</p> <p>(2) Septembre 2021</p>         | <p>Pubmed: 431</p> <p>Webofknowledge: 358</p> <p>SAGE: 261</p>    |
| Choc véhicule              | <p>(1) (avian* OR bird* OR wild?life) AND ("car accident" OR "road traffic accident" OR "road mortality") n=16, n=96, n=1</p> <p>(2) TS=((bird* OR avian*) AND (accident* OR car* OR collision* OR vehicule* OR "car accident" OR "road traffic accident" OR "road mortality") AND (lesion* OR bone* OR fracture* OR "skeletal attempt" OR trauma* OR "post mortem" OR forensic* OR "impact injuries"))n=143, n=3180, n=706</p> <p>(3) TS=((bird* OR avian*) AND (car* OR collision* OR vehicule* OR "car accident" OR "road traffic accident" OR "road mortality") AND ("postmortem" OR autops* OR forensic* OR lesion*)) n=18, n=1398, n=670</p> | <p>(1) Juillet 2021</p> <p>(2) (3) septembre 2021</p>     | <p>Pubmed: 177</p> <p>Webofknowledge:4674</p> <p>SAGE:1377</p>    |
| Choc éolien                | <p>(1) TS=((bird* OR avian*) AND (collision* OR "wind turbine")) n=420, n=1540, n=10</p> <p>(2) TS=((bird* OR avian*) AND ("wind turbine" OR wind* OR "windfarm") AND (lesion* OR bone* OR fracture* OR "skeletal attempt" OR trauma* OR "post mortem" OR forensic* OR "impact injuries" OR mortal*)) n=214, n=805, n=98</p> <p>(3) TS=((bird* OR avian*) AND ("wind turbine" OR wind* OR "windfarm") AND (lesion* OR bone* OR fracture* OR "skeletal attempt" OR trauma* OR "post mortem" OR forensic* OR "impact injuries" OR mortal*) NOT (bat*))n=204, n=635, n=56</p> <p>(4) wind turbine collision n=81, n=510, n=2</p>                      | <p>(1) Juillet 2021</p> <p>(2) (3) (4) Septembre 2021</p> | <p>Pubmed: 919</p> <p>Webofknowledge: 3490</p> <p>SAGE: 166</p>   |
| Collision ligne électrique | <p>(1) TS=((bird* OR avian*) AND (power* OR "power line" OR electro* OR line OR transmission) AND (lesion* OR bone* OR fracture* OR "skeletal attempt" OR</p>  | <p>Juillet et octobre 2021</p>                            | <p>Pubmed: 27620</p> <p>Webofknowledge: 11342</p> <p>SAGE: 47</p> |

|          |   |   |  |
|----------|---|---|--|
|          | <p>trauma* OR "post mortem" OR forensic* OR "impact injuries" OR mortal* OR mortal* OR electro*))<br/> n=27616, n=11336, n=NE<br/> (2) TS = (bird* AND electrocution* AND lesion*)<br/> n=4, n=6, n=47</p>  |   |  |
| Piégeage | <p>(1) TS=((bird* OR avian*) AND (trap* OR "springtrap" OR glu* OR "gluetrap") AND (lesion* OR bone* OR fracture* OR "skeletal attempt" OR trauma* OR "post mortem" OR forensic* OR "impact injuries" OR mortal*))<br/> n=50, n=50, n=0<br/> (2) Piégeage n=5<br/> (3) Drive trap bird<br/> n=8</p> | <p>(1) 09/21 jusqu'au numéro 50 (première page) web of science ET pubmed ET SAGE<br/> (2) Octobre 2021 sur lpo.fr<br/> (3) Octobre 2021 google.fr (1ère page)</p> | <p>Pubmed: 50<br/> Webofknowledge: 50<br/> SAGE: 0<br/> Lpo.fr: 5<br/> Google: 8</p> |
| Tir      | <p>(1) TS=((bird* OR avian*) AND (hunt* OR shoot* OR shot* OR gun* OR gunshot* OR rifle* OR ballisti*) AND (lesion* OR bone* OR fracture* OR "skeletal attempt" OR trauma* OR "post mortem" OR forensic* OR "impact injuries" OR mortal*))</p>  | <p>Juillet et septembre 20221</p>   | <p>Pubmed: 545<br/> Webofknowledge: 884<br/> SAGE: 120</p>                           |

Annexe 1 Données quantitatives des résultats de recherche en fonction de l'équation pour les oiseaux



| Analyte                   | Nombre d'occurrences |
|---------------------------|----------------------|
| Hémorragie                | 788                  |
| Fracture                  | 251                  |
| Congestion                | 142                  |
| Plaie profonde            | 69                   |
| Rupture                   | 54                   |
| Nécrosant                 | 43                   |
| Epanchement               | 41                   |
| Plaie cutanée ou muqueuse | 28                   |
| Oedème                    | 20                   |
| Lésion                    | 19                   |
| Brûlure                   | 15                   |
| Fissure                   | 10                   |
| Ecrasement                | 5                    |
| Nécrose                   | 4                    |
| Amputation                | 3                    |
| Hépatisation              | 3                    |
| Luxation                  | 1                    |

Annexe 3 Répartition des analytes en fonction de leur nombre d'occurrences. Le terme « Congestion » est considéré comme un afflux de sang dans une partie du corps que l'on différencie du terme « Hémorragie » qui implique une rupture vasculaire non physiologique. Le terme « Epanchement est une accumulation dans les tissus ou dans une cavité d'un liquide ou d'un gaz organique, il est à différencier d'« Œdème » qui est une augmentation du liquide interstitiel. « Rupture » fait référence à la rupture d'un organe suite à un traumatisme.

| Matrice/analyte    | Nombre d'occurrence | Proportion du total |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| Thorax/Hémorragie  | 326                 | 25,9%               |
| Abdomen/Hémorragie | 257                 | 20,4%               |
| Tête/Hémorragie    | 100                 | 7,9%                |
| Abdomen/Congestion | 91                  | 7,2%                |
| Thorax/Plaie       | 56                  | 4,4%                |
| Thorax/Fracture    | 39                  | 3,1%                |
| Abdomen/Nécrosant  | 30                  | 2,4%                |
| Cou/Hémorragie     | 30                  | 2,4%                |
| Thorax/Congestion  | 28                  | 2,2%                |
| Abdomen/Rupture    | 26                  | 2,1%                |
| Thorax/Epanchement | 25                  | 2,0%                |
| Patte/Fracture     | 23                  | 1,8%                |
| Tête/Congestion    | 19                  | 1,5%                |
| Thorax/Rupture     | 18                  | 1,4%                |
| Tête/Fracture      | 17                  | 1,4%                |
| Aile/Fracture      | 17                  | 1,4%                |
| Thorax/Œdème       | 15                  | 1,2%                |

|                                |             |      |
|--------------------------------|-------------|------|
| Abdomen/Plaie                  | 14          | 1,1% |
| Abdomen/Epanchement            | 13          | 1,0% |
| Abdomen/Fracture               | 12          | 1,0% |
| Cou/Fracture                   | 12          | 1,0% |
| Cou/Plaie                      | 11          | 0,9% |
| Aile/Hémorragie                | 9           | 0,7% |
| Thorax/Brûlure                 | 9           | 0,7% |
| Patte/Hémorragie               | 8           | 0,6% |
| Patte/Plaie                    | 8           | 0,6% |
| Ceinture scapulaire/Fracture   | 8           | 0,6% |
| Thorax/Nécrosant               | 7           | 0,6% |
| Tête/Plaie                     | 7           | 0,6% |
| Aile/Brûlure                   | 3           | 0,2% |
| Tête/Epanchement               | 3           | 0,2% |
| Tête/Nécrosant                 | 3           | 0,2% |
| Abdomen/Brûlure                | 3           | 0,2% |
| Tête/Rupture                   | 2           | 0,2% |
| Ceinture pelvienne/Fracture    | 2           | 0,2% |
| Aile/Plaie                     | 2           | 0,2% |
| Cou/Rupture                    | 2           | 0,2% |
| Ceinture scapulaire/Hémorragie | 1           | 0,1% |
| Patte/Nécrosant                | 1           | 0,1% |
| Cou/Nécrosant                  | 1           | 0,1% |
| Tête/Brûlure                   | 1           | 0,1% |
| Cou/Congestion                 | 1           | 0,1% |
| Abdomen/Edème                  | 1           | 0,1% |
| <b>Total</b>                   | <b>1261</b> |      |

*Annexe 4 Répartition des différents couples matrice/analyte pour l'ensemble des échantillons de classe Aves*

| <b>Matrice/analyte</b> | <b>Nombre d'occurrence</b> | <b>Proportion du total</b> |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Aile/Fracture          | 63                         | 28,1%                      |
| Patte/Fracture         | 49                         | 21,9%                      |
| Thorax/Hémorragie      | 34                         | 15,2%                      |
| Tête/Fracture          | 25                         | 11,2%                      |

|                    |            |      |
|--------------------|------------|------|
| Abdomen/Hémorragie | 19         | 8,5% |
| Tête/Hémorragie    | 15         | 6,7% |
| Thorax/Oedème      | 4          | 1,8% |
| Abdomen/Rupture    | 3          | 1,3% |
| Thorax/Congestion  | 3          | 1,3% |
| Thorax/Plaie       | 2          | 0,9% |
| Thorax/Epanchement | 2          | 0,9% |
| Aile/Plaie         | 1          | 0,5% |
| Cou/Hémorragie     | 1          | 0,5% |
| Thorax/Rupture     | 1          | 0,5% |
| Thorax/Fracture    | 1          | 0,5% |
| Abdomen/Nécrosant  | 1          | 0,5% |
| <b>Total</b>       | <b>224</b> |      |

Annexe 5 Répartition des différents couples matrice/analyte pour l'ensemble des échantillons des chiroptères

| <b>Couple matrice/lésion</b> | <b>abréviation</b> |
|------------------------------|--------------------|
| Aile/fracture                | Ail/fra            |
| Cou/fracture                 | Cou/fra            |
| Cou/hémorragie               | Cou/hem            |
| Cou/rupture                  | Cou/rup            |
| Patte/fracture               | Pat/fra            |
| Tête/fracture                | Te/fra             |
| Tête/hémorragie              | Te/hem             |
| Cavité cœlomique/œdème       | Cav/oed            |
| Cavité cœlomique/hémorragie  | Cav/hem            |
| Cavité cœlomique/rupture     | Cav/rup            |

Annexe 6 Tableau des 11 couples matrice/lésion issus du tri des données d'Epifaune ainsi que leur écriture abrégée

| N° Evénement | Espec                     | Commune               | Département      | Région                     | Contexte | Type     | Nom famille  | Nom ordre     | Nom classe | Vos hypothèses pour expliquer la mortalité | Infrastructures à proximité                | Milieu de prélèvement                      | Type de prélèvement              | Radio |
|--------------|---------------------------|-----------------------|------------------|----------------------------|----------|----------|--------------|---------------|------------|--|--|--|----------------------------------|-------|
| 143445       | Aigle de Bonelli          | Sougg                 | Loiret           | Centre-Val-de-Loire        | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | -  | LIGNE ÉLECTRIQUE                           | CULTURE                                    | -                                | 0     |
| 137436       | Aigle de Bonelli          | Mauzsane-les-Alpilles | Bouches-du-Rhône | Provence-Alpes-Côte d'Azur | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | -  | NON  | -  | -                                | 0     |
| 137436       | Aigle de Bonelli          | Mauzsane-les-Alpilles | Bouches-du-Rhône | Provence-Alpes-Côte d'Azur | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | -  | NON  | -  | -                                | 0     |
| 143445       | Aigle de Bonelli          | Sougg                 | Loiret           | Centre-Val-de-Loire        | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | -  | LIGNE ÉLECTRIQUE                           | CULTURE                                    | -                                | 0     |
| 142854       | Aigle royal - Aigle fauve | Bernin                | Isère            | Auvergne-Rhône-Alpes       | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | -  | -  | NE SAIT PAS                                | DÉCOUVERTE ANIMAL MORT OU MALADE | 0     |
| 141484       | Aigle royal - Aigle fauve | La Chaumusse          | Jura             | Bourgogne-Franche-Comté    | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | -  | à une centaine de mètre / LIGNE ÉLECTRIQUE | FORÊT                                      | DÉCOUVERTE ANIMAL MORT OU MALADE | 0     |
| 135151       | Aigle royal - Aigle fauve | Théus                 | Hautes-Alpes     | Provence-Alpes-Côte d'Azur | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | nogade                                     | CHEMIN                                     | bassin de rétention d'eau de pluie / AUTRE | DÉCOUVERTE ANIMAL MORT OU MALADE | 0     |
| 141484       | Aigle royal - Aigle fauve | La Chaumusse          | Jura             | Bourgogne-Franche-Comté    | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | -  | à une centaine de mètre / LIGNE ÉLECTRIQUE | FORÊT                                      | DÉCOUVERTE ANIMAL MORT OU MALADE | 0     |
| 142854       | Aigle royal - Aigle fauve | Bernin                | Isère            | Auvergne-Rhône-Alpes       | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | -  | -  | NE SAIT PAS                                | DÉCOUVERTE ANIMAL MORT OU MALADE | 0     |
| 135151       | Aigle royal - Aigle fauve | Théus                 | Hautes-Alpes     | Provence-Alpes-Côte d'Azur | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | nogade                                     | CHEMIN                                     | bassin de rétention d'eau de pluie / AUTRE | DÉCOUVERTE ANIMAL MORT OU MALADE | 0     |
| 141484       | Aigle royal - Aigle fauve | La Chaumusse          | Jura             | Bourgogne-Franche-Comté    | SAGIR    | physique | Accipitridae | Falconiformes | Aves       | -  | à une centaine de mètre / LIGNE ÉLECTRIQUE | FORÊT                                      | DÉCOUVERTE ANIMAL MORT OU MALADE | 0     |

## Feuillet évènements

| N° Echantillon | Espec                     | Age  | Etat corporel de l'animal (ITD) | Etat corporel labo        | Etat du cadavre | Sexe          |
|----------------|---------------------------|--|---------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------|
| 143445-1       | Aigle de Bonelli          | 1-2 ans / IMMATURE                             | BON                             | BON                       | CORRECT         | NE SAIT PAS   |
| 141484-1       | Aigle royal - Aigle fauve | taille = 75 cm - envergure = 190 cm / IMMATURE | BON                             | 3,250 kg / BON            | CORRECT         | MÂLE          |
| 142854-1       | Aigle royal - Aigle fauve | "jeune adulte" probable / ADULTE               | BON                             | P=3,8kg / EXCELLENT       | ALTÉRÉ          | / MÂLE        |
| 138499-1       | Autour des palombes       | ADULTE   | NE SAIT PAS                     | NE SAIT PAS               | PUTRÉFIÉ        | NE SAIT PAS   |
| 145786-1       | Bécasse des bois          | d'après le plumage / IMMATURE                  | -                               | poids plein = 315 g / BON | CORRECT         | MÂLE          |
| 141996-1       | Bécasse des bois          | ADULTE   | BON                             | BON                       | CORRECT         | MÂLE          |
| 141978-1       | Bécasse des bois          | ADULTE   | -                               | BON                       | CORRECT         | MÂLE          |
| 117884-1       | Bécasse des bois          | NE SAIT PAS                                    | BON                             | -                         | -               | NE SAIT PAS   |
| 120414-1       | Bécasse des bois          | -  | -                               | -                         | -               | / NE SAIT PAS |
| 120414-2       | Bécasse des bois          | -  | -                               | -                         | -               | NE SAIT PAS   |
| 132914-1       | Bécasse des bois          | ADULTE   | -                               | -                         | -               | FEMELLE       |
| 132911-1       | Bécasse des bois          | ADULTE   | -                               | -                         | -               | FEMELLE       |
| 143367-1       | Bécasse des bois          | IMMATURE                                       | BON                             | -                         | CORRECT         | NE SAIT PAS   |
| 136242-1       | Bécasse des bois          | NE SAIT PAS                                    | TRÈS MAIGRE                     | ETAT DÉGRADÉ              | CORRECT         | NE SAIT PAS   |

## Feuillet échantillons

| N° Evénement | N° Echantillon | Espec            | Labo     | N° LIMS | Plan Analyse     | Matrice | Méthode | Catégorie d'analyte | Analyte             | Résultat qualitatif | Commentaire |
|--------------|----------------|------------------|----------|---------|------------------|---------|---------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------|
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC/MS   | Toxique             | Aldicarbe           | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC/MS   | Toxique             | Benfuracarb         | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC-ECD  | Toxique             | Brodifacoum         | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC-ECD  | Toxique             | Bromadiolone        | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC/MS   | Toxique             | Carbofuran          | Positif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC/MS   | Toxique             | Carbosulfan         | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC-ECD  | Toxique             | Chloralose          | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC-ECD  | Toxique             | Chlorophacinone     | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC/MS   | Toxique             | Chlorpyrifos-éthyl  | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC/MS   | Toxique             | Chlorpyrifos-méthyl | Positif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC-ECD  | Toxique             | Coumatéfène         | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC-ECD  | Toxique             | Coumatétralyl       | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC/MS   | Toxique             | Diazinon            | Négatif             | inconnu     |
| 143445       | 143445-1       | Aigle de Bonelli | 18 - Non | 19-0041 | PLAN TOXICOLOGIE | Gésier  | GC/MS   | Toxique             | Dichlorvos          | Négatif             | inconnu     |

## Feuillet résultats

Annexe 7 Capture d'écran Excel des trois feuillets d'extraction des données Epifaune

| N° Echantillon | Ordre | ail/fra | Cou/fra | Cou/hem | pat/fra | te/fra | te/hem | Cav/oed | Cav/hem | Cav/fra | Cou/rup | Cav/rup |
|----------------|-------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 101878-1       | falc  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 1      | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       |
| 102082-1       | ans   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       |
| 105534-1       | cico  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 1       | 0       | 0       | 0       |
| 105538-1       | pass  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       |
| 105539-1       | ans   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       |
| 106390-1       | gall  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 1       | 0       | 1       | 0       | 0       |
| 106394-1       | gall  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       |
| 106426-1       | cico  | 0       | 0       | 0       | 0       | 1      | 0      | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       |
| 106810-1       | falc  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       |
| 106810-2       | falc  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 1       | 1       | 0       | 0       |
| 108054-1       | ans   | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 1      | 0       | 0       | 0       | 1       | 0       |
| 108161-1       | ans   | 0       | 0       | 0       | 1       | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0       |
| 108210-1       | falc  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       |
| 108896-3       | pass  | 0       | 0       | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 0       | 1       | 0       | 0       |

Annexe 8 Matrice de données Epifaune au format final pour les analyses dans le logiciel R avec uniquement les variables d'intérêts

| Ordres               | Choc objet fixe | Choc véhicule  | Électrisation | Piégeage     | Prédation      | Tir           | Total général |
|----------------------|-----------------|----------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------|
| Passériformes        | 15,82% (n=138)  | 10,2% (n=89)   | 0             | 0,45% (n=4)  | 73,05% (n=637) | 0,45% (n=4)   | 872           |
| Columbiformes        | 18,15% (n=138)  | 19,86% (n=151) | 0,13% (n=1)   | 0            | 59,07% (n=449) | 2,76% (n=21)  | 760           |
| Strigiformes         | 11,56% (n=20)   | 78,61% (n=136) | 0,57% (n=1)   | 1,73% (n=3)  | 6,93% (n=12)   | 0,57% (n=1)   | 173           |
| Accipitriformes      | 20,16% (n=25)   | 44,35% (n=55)  | 8,06% (n=10)  | 1,61% (n=2)  | 6,45% (n=8)    | 19,35% (n=24) | 124           |
| Falconiformes        | 18,82% (n=16)   | 35,29% (n=30)  | 30,58% (n=26) | 0            | 7,05% (n=6)    | 8,23% (n=7)   | 85            |
| Apodiformes          | 34,14% (n=28)   | 7,31% (n=6)    | 0             | 0            | 58,53% (n=48)  | 0             | 82            |
| Bucérotiformes       | 13,51% (n=5)    | 16,21% (n=6)   | 0             | 0            | 70,27% (n=26)  | 0             | 37            |
| Piciformes           | 37,03% (n=10)   | 40,74% (n=11)  | 0             | 0            | 22,22% (n=6)   | 0             | 27            |
| Charadriiformes      | 47,82% (n=11)   | 34,78% (n=8)   | 0             | 0            | 13,04% (n=3)   | 4,34% (n=1)   | 23            |
| Galliformes          | 21,05% (n=4)    | 42,1% (n=8)    | 0             | 0            | 36,84% (n=7)   | 0             | 19            |
| Ansériformes         | 0               | 15,78% (n=3)   | 0             | 0            | 73,68% (n=14)  | 10,52% (n=2)  | 19            |
| Coraciiformes        | 52,94% (n=9)    | 17,64% (n=3)   | 0             | 0            | 17,64% (n=3)   | 11,76% (n=2)  | 17            |
| Psittaciformes       | 23,07% (n=3)    | 0              | 0             | 0            | 76,92% (n=10)  | 0             | 13            |
| Pélécaniformes       | 22,22% (n=2)    | 33,33% (n=3)   | 0             | 0            | 0              | 44,44% (n=4)  | 9             |
| Gruiformes           | 33,33% (n=2)    | 16,66% (n=1)   | 16,66% (n=1)  | 0            | 33,33% (n=2)   | 0             | 6             |
| <b>Total général</b> | <b>18,14%</b>   | <b>22,51%</b>  | <b>1,72%</b>  | <b>0,40%</b> | <b>54,32%</b>  | <b>2,91%</b>  | <b>2266</b>   |

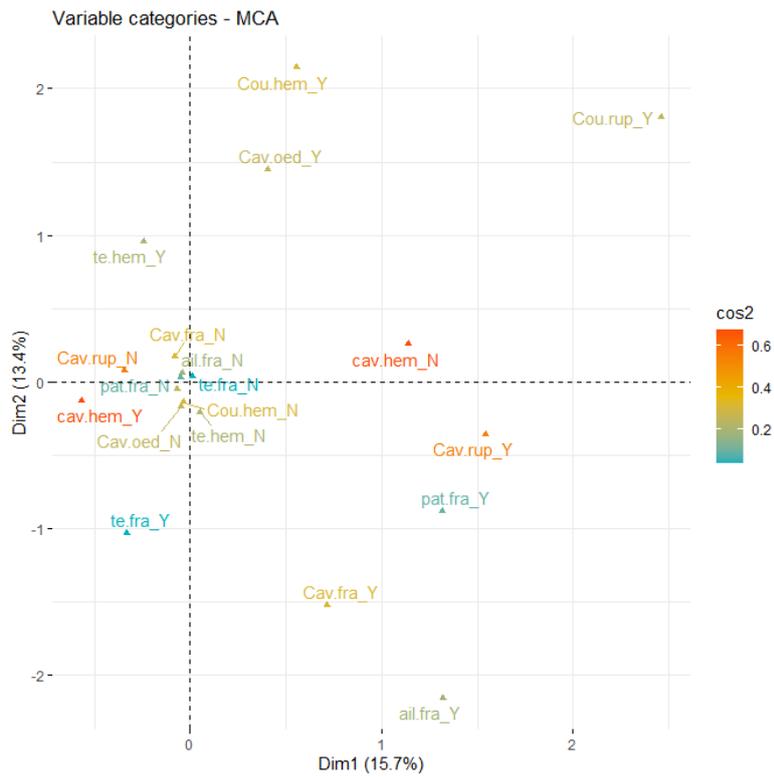
Annexe 9 Tableau récapitulatif selon les ordres de la proportion de chaque cause d'entrée traumatique

| Couple matrice/lésion        | abréviation          |
|------------------------------|----------------------|
| Aile/fracture                | Ail/fra              |
| Ceinture scapulaire/fracture | C sca/fra ou Sca/fra |
| Patte/fracture               | Pat/fra              |
| Tête/fracture                | Te/fra               |
| Aile/rupture                 | Ail/rup              |
| Tête/hémorragie              | Te/hem               |
| Cavité cœlomique/rupture     | Cav/rup              |
| Tête/rupture                 | Te/rup               |

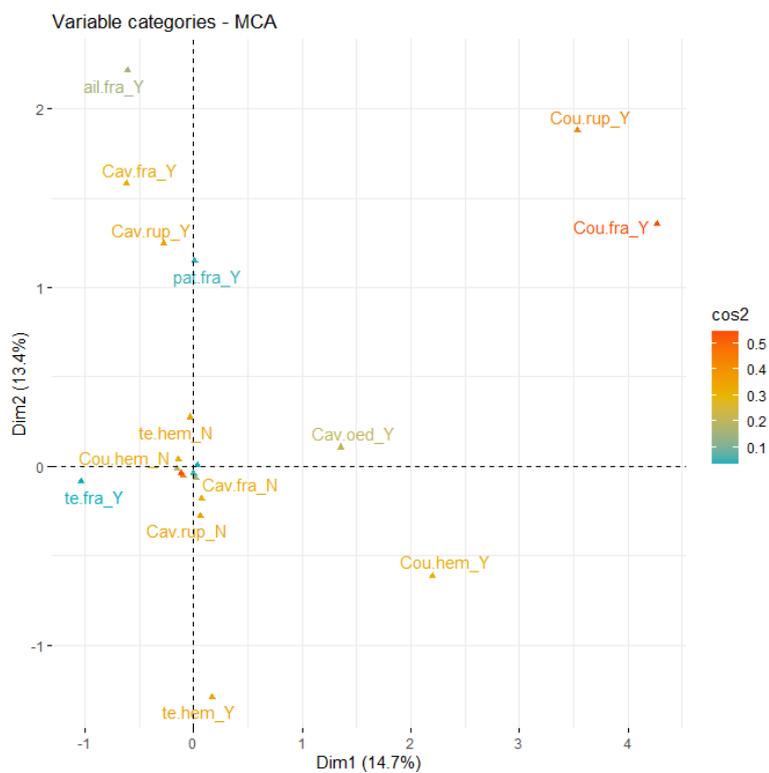
Annexe 10 Tableau récapitulatif des 8 couples matrice/lésion conservés pour les analyses de la base de données du centre de soins de l'ENVT

| Numero  | Cause entree    | cav/rup | Ail/Fra | Ail/rup | c sca/Fra | Pat/Fra | Te/Fra | Te/Hem | Te/Rup | Ordre             |
|---------|-----------------|---------|---------|---------|-----------|---------|--------|--------|--------|-------------------|
| 19-0016 | Choc objet fixe | 0       | 1       | 0       | 0         | 0       | 0      | 0      | 0      | 0 Columbiformes   |
| 18-0062 | Choc objet fixe | 0       | 0       | 0       | 0         | 0       | 0      | 0      | 0      | 1 Columbiformes   |
| 20-0610 | predation       | 1       | 0       | 0       | 0         | 0       | 0      | 0      | 0      | 0 Passeriformes   |
| 19-0803 | Choc objet fixe | 0       | 0       | 0       | 1         | 0       | 0      | 0      | 0      | 0 Passeriformes   |
| 20-0358 | Predation       | 0       | 1       | 0       | 0         | 1       | 0      | 0      | 0      | 0 Passeriformes   |
| 17-1861 | Choc vehicule   | 0       | 0       | 0       | 0         | 0       | 1      | 0      | 0      | 0 Accipitriformes |
| 18-0048 | Tir             | 0       | 1       | 0       | 0         | 0       | 0      | 0      | 0      | 0 Accipitriformes |
| 18-1465 | Predation       | 0       | 0       | 1       | 0         | 0       | 0      | 0      | 0      | 0 Columbiformes   |
| 18-1280 | Choc objet fixe | 0       | 1       | 0       | 0         | 0       | 0      | 0      | 0      | 0 Columbiformes   |

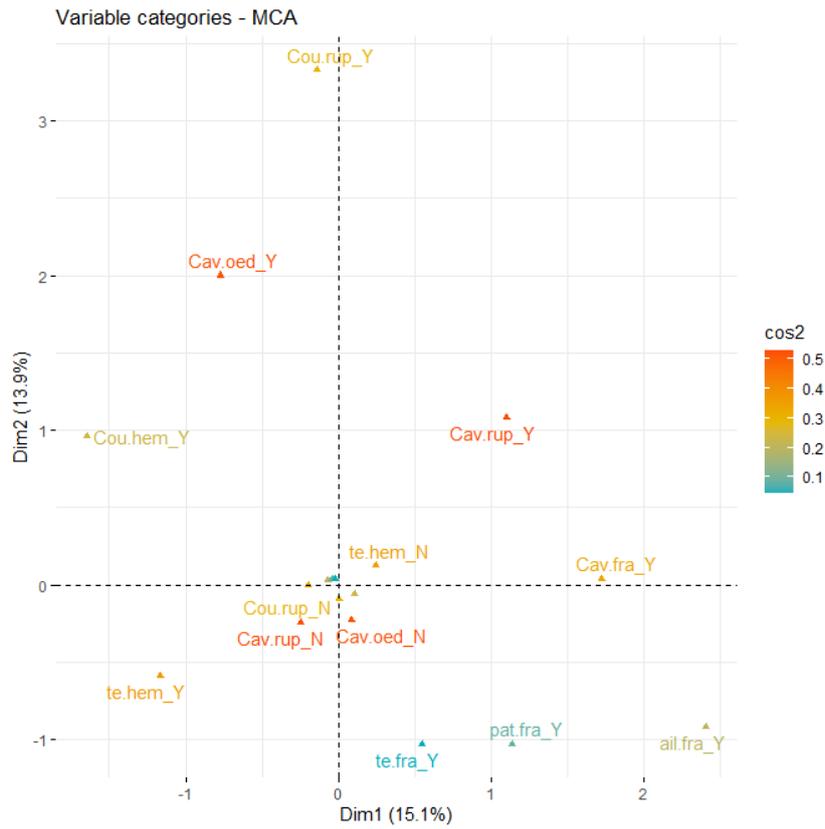
Annexe 11 Matrice de données du centre de soins de l'ENVT au format final pour les analyses dans le logiciel R avec uniquement les variables d'intérêt



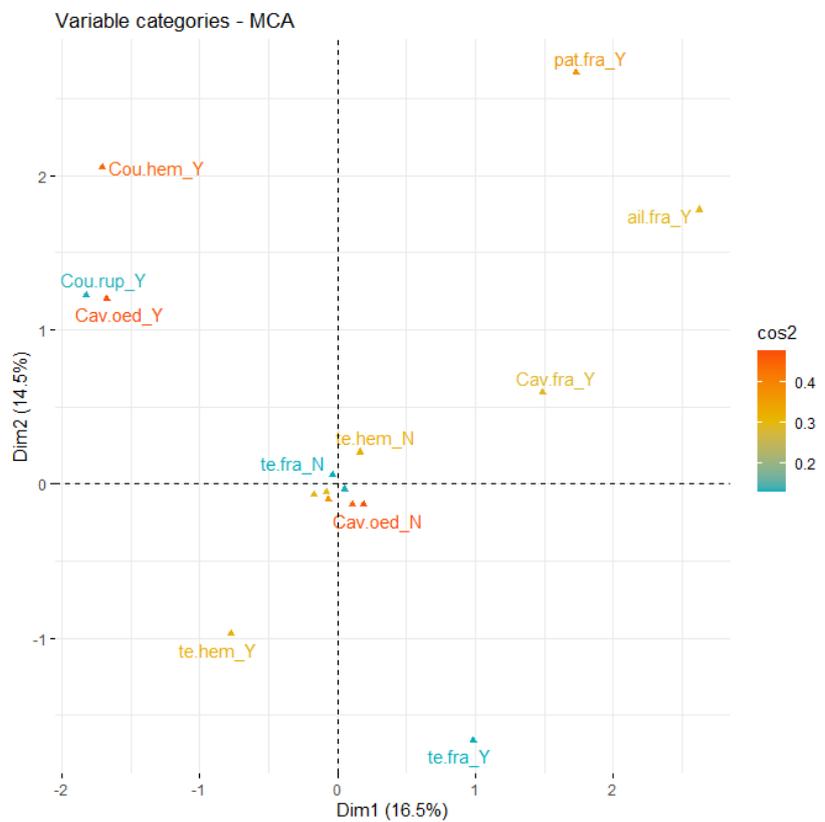
Annexe 12 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sauf Cou/fra depuis Epifaune



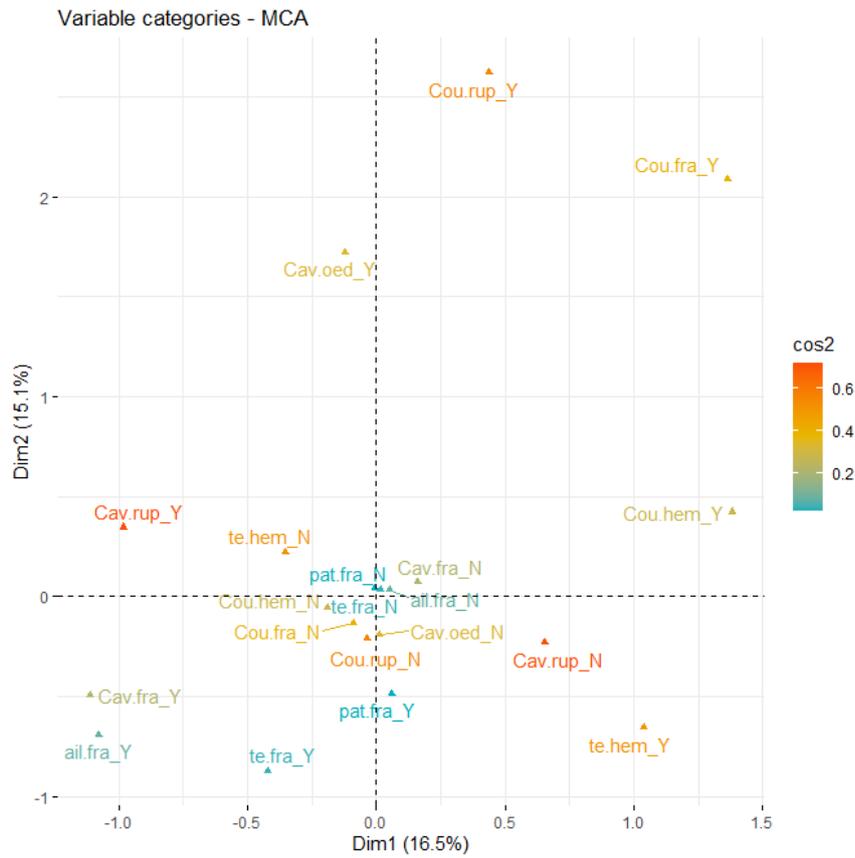
Annexe 13 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sauf Cav/hem depuis Epifaune



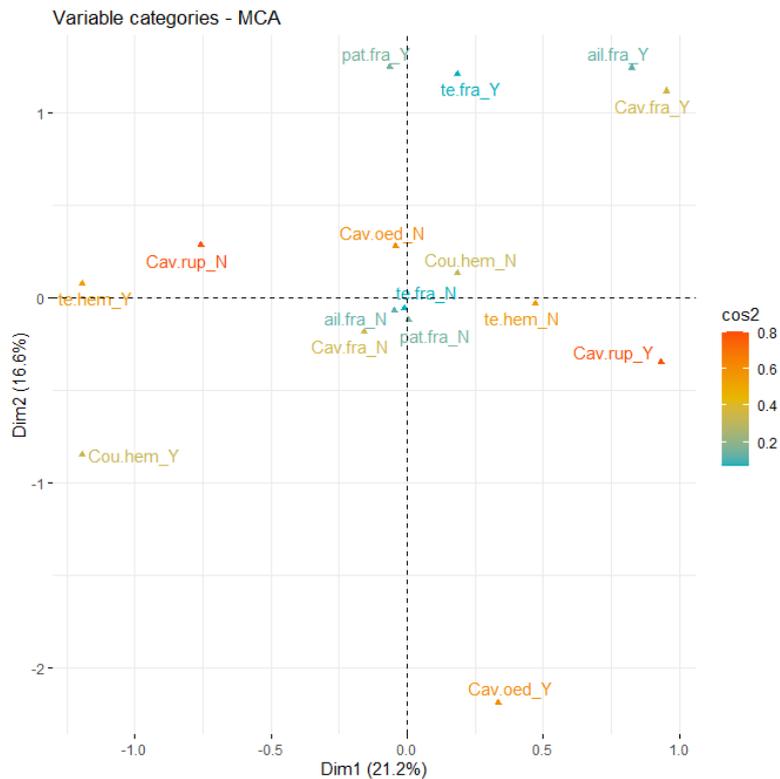
Annexe 14 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sauf Cav/hem et Cou/fra depuis Epifaune



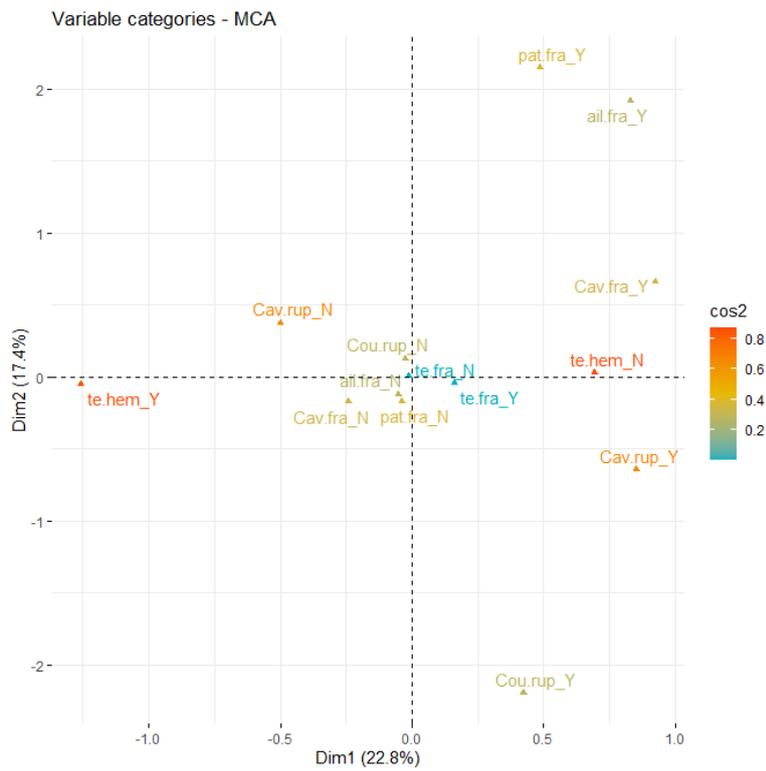
Annexe 15 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sauf Cav/hem, Cou/fra et Cav/rup depuis Epifaune



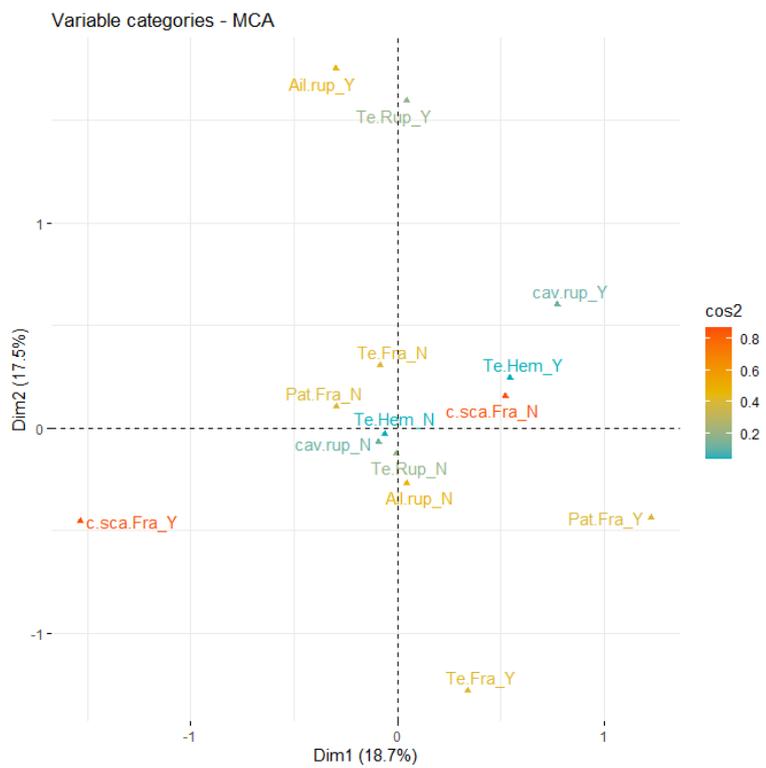
Annexe 16 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Cav/hem\_Y depuis Epifaune



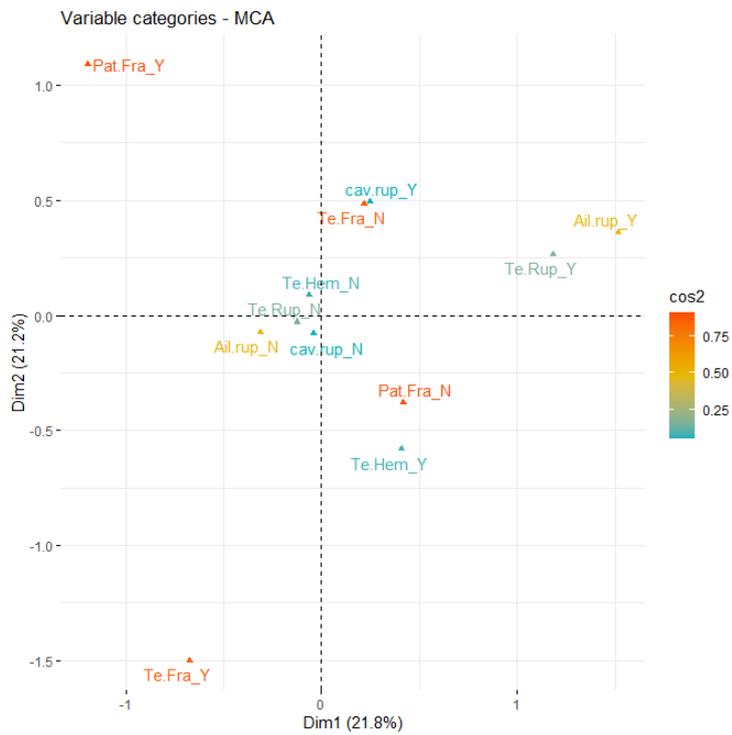
Annexe 17 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Cav/hem\_Y, Cou/fra\_Y ou Cou/rup\_Y depuis Epifaune



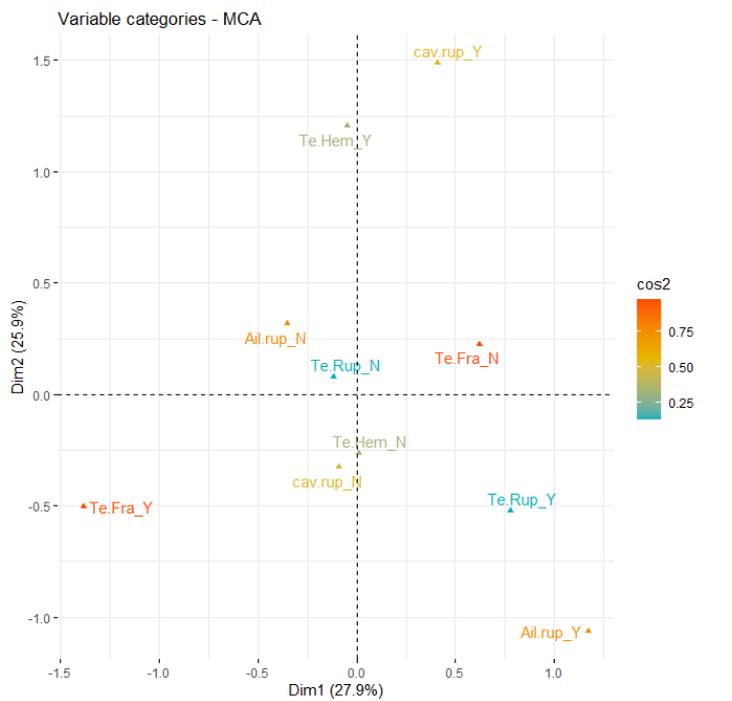
Annexe 18 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Cav/hem\_Y, Cou/fra\_Y ou Cav/oad\_Y depuis Epifaune



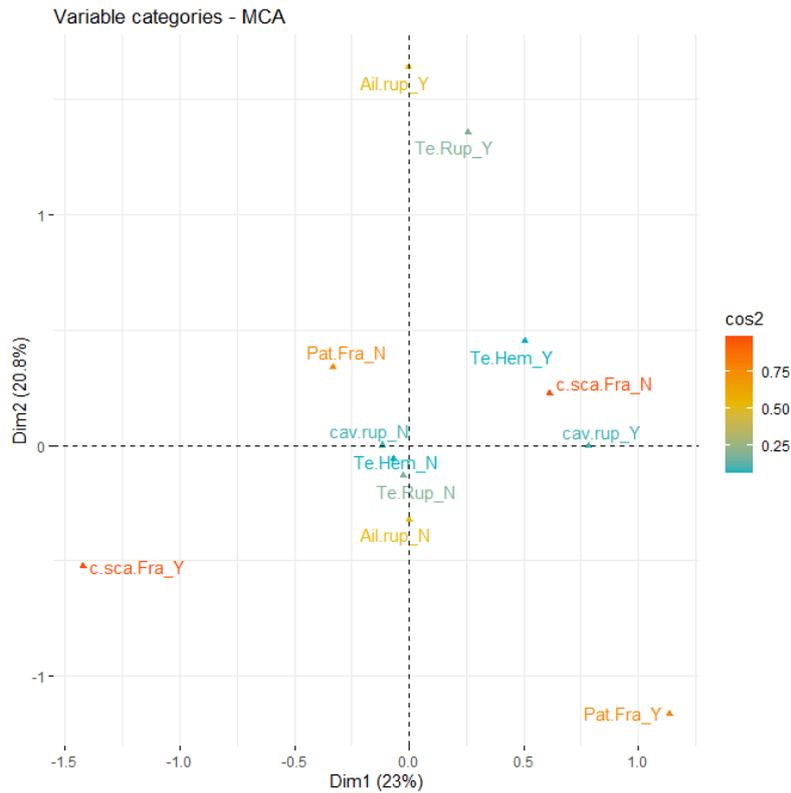
Annexe 19 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Ail/fra\_Y depuis les données de l'ENVT



Annexe 20 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Ail/fra\_Y ou Sa/fra\_Y depuis les données de l'ENVT



Annexe 21 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Ail/fra\_Y ou Sca/fra\_Y ou Pat/fra\_Y depuis les données de l'ENVT



Annexe 22 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels sans les individus ayant comme modalité Ail/fra\_Y ou Te/fra\_Y depuis les données de l'ENVT

| Couple1   | Couple2   | P-Value   |
|-----------|-----------|-----------|
| Cav/hem   | Cav/rupNO | 2,339e-16 |
| Cav/hemNO | Cav/rup   | 2,339e-16 |
| Cou/hem   | Cou/fra   | 0,003619  |
| Cou/rup   | Cou/fra   | 0,0001272 |
| Cou/hem   | Cav/oed   | 0,003134  |
| Cav/fra   | Te/hemNO  | 0,001709  |
| Te/hem    | Cav/rupNO | 0,001979  |
| Cou/hem   | Cav/rupNO | 0,007678  |
| Cav/fra   | Cav/rup   | 0,01371   |
| Cou/rup   | Cav/rup   | 0,04805   |
| Cav/hemNO | Cav/fra   | 0,2479    |
| Cou/hem   | Cou/rup   | 0,527     |
| Cav/fra   | Te/fraNO  | 1         |
| Cav/fra   | Pat/fraNO | 0,6723    |
| Cou/rup   | Cav/oed   | 0,1128    |

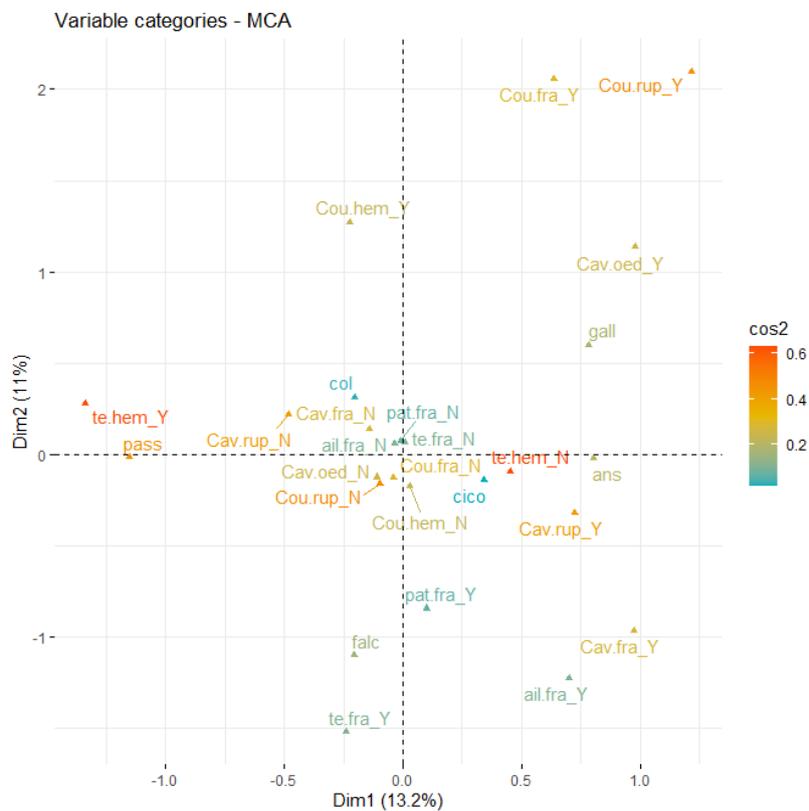
|           |           |         |
|-----------|-----------|---------|
| Cav/fra   | Ail/fra   | 0,1365  |
| Cou/hem   | Cav/fraNO | 0,5052  |
| Cou/hem   | Te/hem    | 0,7981  |
| Te/hem    | Cav/oed   | 0,8381  |
| Cav/oedNO | Cav/rupNO | 0,06956 |
| Te/hem    | Cou/rupNO | 0,7009  |
| Pat/fra   | Ail/fra   | 0,07301 |
| Cav/fra   | Cav/oedNO | 0,2058  |
| Cav/oedNO | Te/hemNO  | 0,8381  |
| Cou/fra   | Cav/oed   | 0,1128  |
| Pat/fra   | Te/fra    | 1       |

Annexe 23 Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple des données issues d'Epifaune

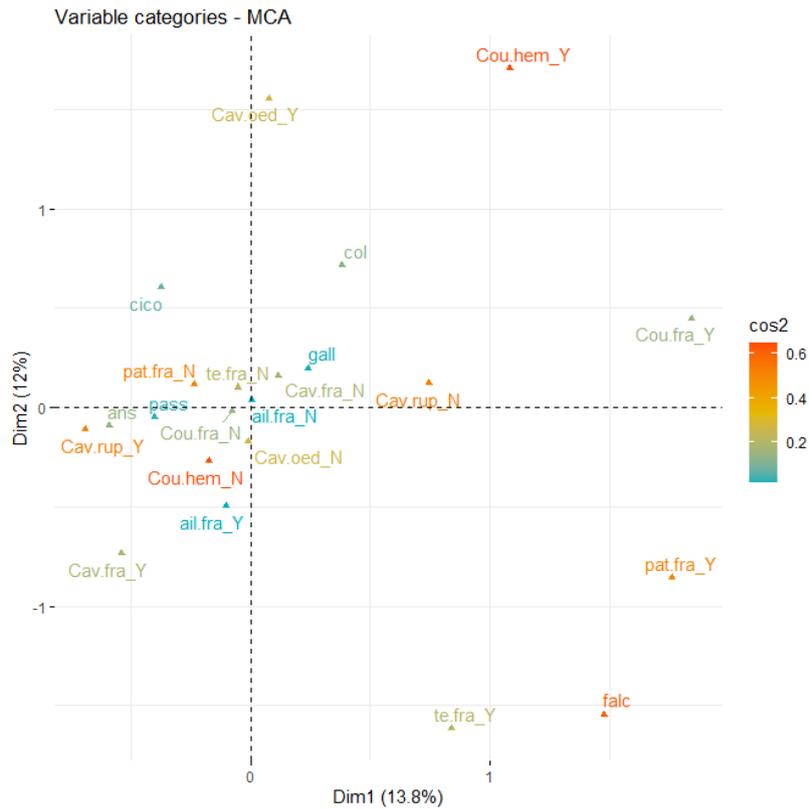
| Couple1   | Couple2   | P-Value   |
|-----------|-----------|-----------|
| Te/fra    | Ail/fraNO | 9,424e-07 |
| Sca/fra   | Pat/fraNO | 0,001381  |
| Ail/rup   | Pat/fraNO | 0,01194   |
| Ail/rup   | Te/fraNO  | 0,03395   |
| Pat/fra   | Ail/rupNO | 0,01194   |
| Pat/fra   | Ail/fra   | 0,01794   |
| Te/fra    | Ail/rupNO | 0,03395   |
| Te/hem    | Ail/fraNO | 0,0472    |
| Cav/rup   | Te/hem    | 1         |
| Te/fra    | Te/hem    | 1         |
| Te/hem    | Te/fraNO  | 1         |
| Ail/rup   | Sca/fraNO | 0,06087   |
| Cav/rup   | Te/fraNO  | 0,1474    |
| Cav/rupNO | Te/fra    | 0,1474    |
| Te/fra    | Pat/fraNO | 0,2322    |
| Pat/fra   | Te/fra    | 0,2322    |
| Pat/fra   | Te/fraNO  | 0,2322    |
| Cav/rup   | Ail/rupNO | 0,2355    |

|           |         |        |
|-----------|---------|--------|
| Cav/rupNO | Ail/rup | 0,2355 |
|-----------|---------|--------|

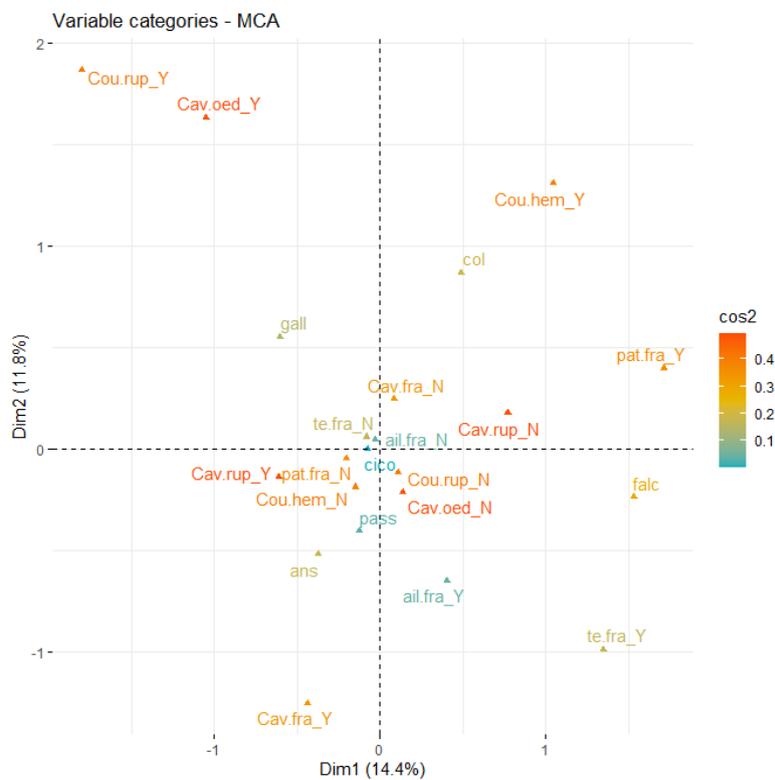
Annexe 24 Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple des données issues du centre de soin de la faune sauvage de l'ENVT



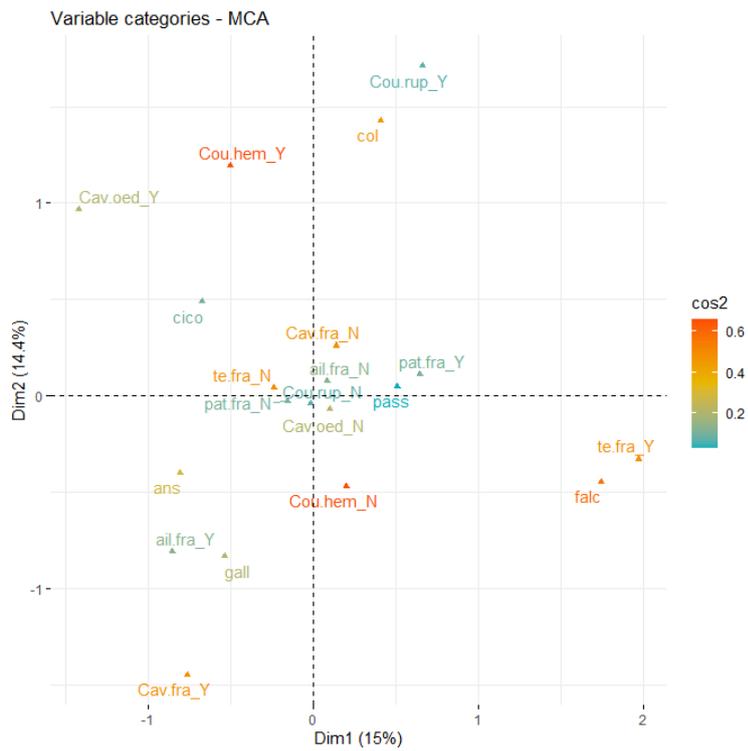
Annexe 25 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Cav/hem\_Y depuis Epifaune.



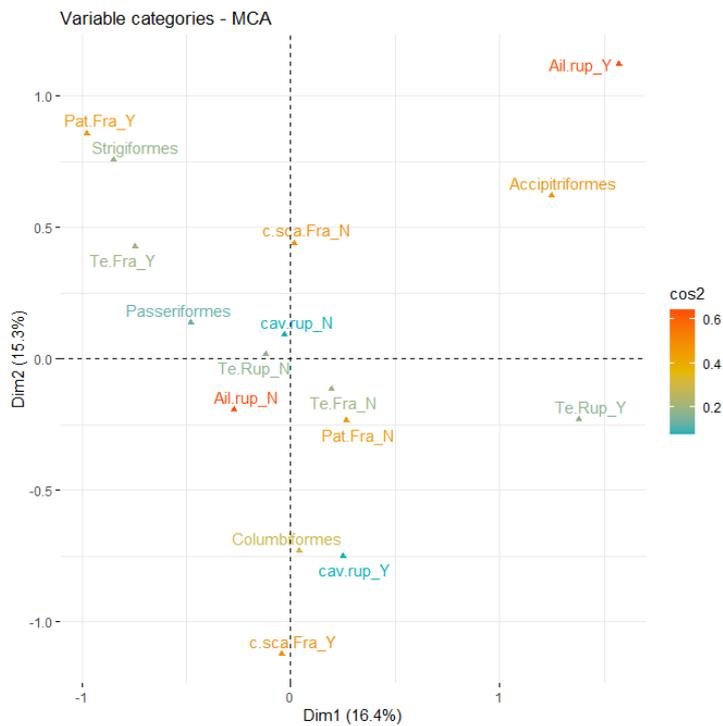
Annexe 26 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Cav/hem\_Y, Te/hem\_Y ou Cou/rup\_Y depuis Epifaune.



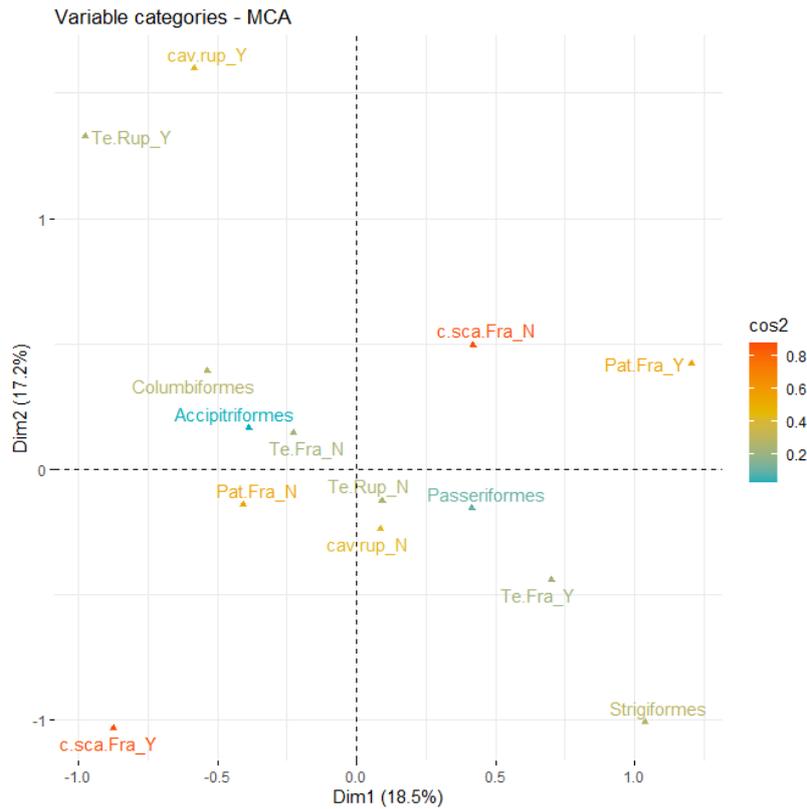
Annexe 27 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Cav/hem\_Y, Te/hem\_Y ou Cou/fra\_Y depuis Epifaune.



Annexe 28 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Cav/hem\_Y, Te/hem\_Y, Cou/fra\_Y ou Cav/rup\_Y depuis Epifaune.



Annexe 29 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Ail/fra\_Y ou Te/hem\_Y depuis les données de l'ENVT



Annexe 30 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels et les ordres sans les individus ayant comme modalité Ail/fra\_Y, Te/hem\_Y ou Ail/rup\_Y depuis les données de l'ENVT

| Couple1  | Couple2   | P-Value   |
|----------|-----------|-----------|
| Cav/hem  | Cou/hemNO | 0,0004473 |
| Cav/rup  | Te/hemNO  | 0,001709  |
| Ans      | Cav/fra   | 0,001977  |
| Te/hemNO | Cav/rup   | 0,001979  |
| Cav/hem  | Te/hemNO  | 0,002474  |
| Falc     | Pat/fra   | 0,003303  |
| Cav/rup  | Cou/hemNO | 0,007678  |
| Ans      | Ail/fra   | 1,61e-07  |
| Pass     | Te/hem    | 2,104e-10 |
| Ans      | Te/hemNO  | 3,474e-06 |
| Cico     | Cav/fra   | 0,01281   |
| Gall     | Cav/rup   | 0,01388   |
| Ans      | Cav/oed   | 0,03158   |
| Ans      | Cou/hemNO | 0,03714   |

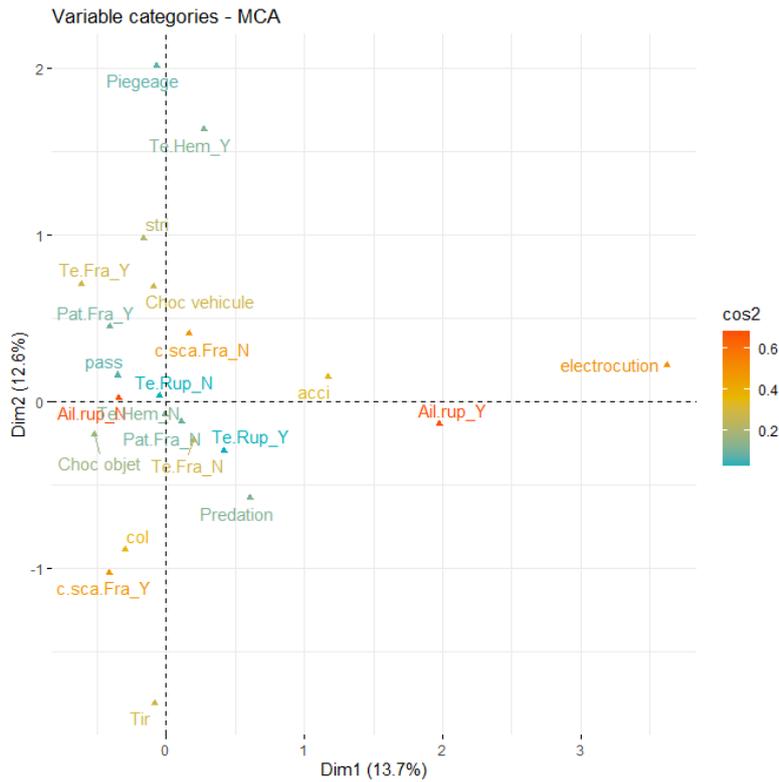
|           |           |         |
|-----------|-----------|---------|
| Col       | Cou/rup   | 1       |
| Gall      | Cou/hemNO | 1       |
| Gall      | Ail/fra   | 1       |
| Col       | Te/hem    | 1       |
| Cico      | Cav/rup   | 1       |
| Gall      | Cav/oed   | 1       |
| Falc      | Te/fra    | 0,05943 |
| Ans       | Pat/fraNO | 0,08341 |
| Col       | Cou/hem   | 0,1607  |
| Ans       | Cav/rup   | 0,162   |
| Gall      | Cav/fraNO | 0,3023  |
| Cico      | Ail/fra   | 0,3221  |
| Cav/fraNO | Cou/hemNO | 0,5052  |
| Falc      | Te/hem    | 0,5418  |
| Pass      | Cav/hem   | 0,5558  |
| Cico      | Pat/fra   | 0,6435  |
| Col       | Cav/oed   | 0,6663  |
| Pat/fra   | Cav/rupNO | 0,7476  |
| Pat/fraNO | Cav/rup   | 0,7476  |

*Annexe 31 Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple et des ordres des données issues d'Epifaune*

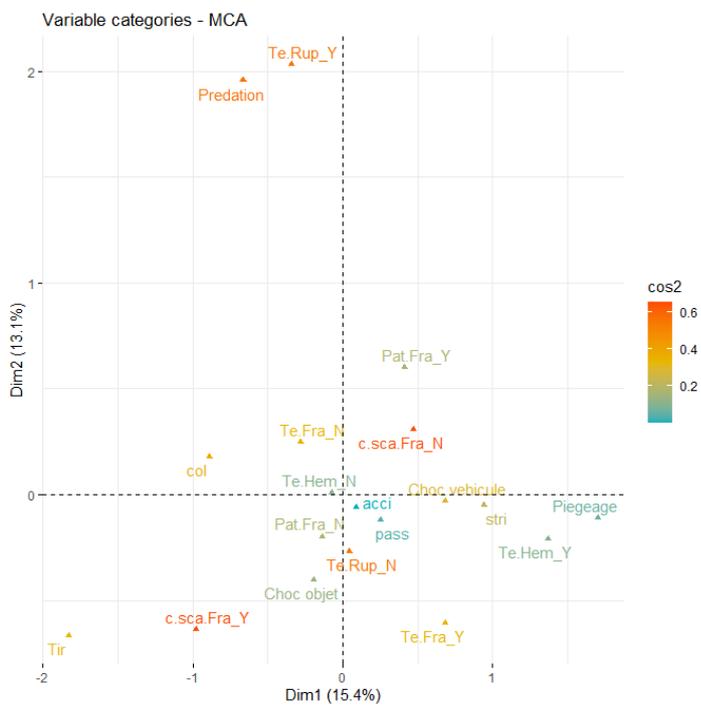
| Couple1   | Couple2   | P-Value   |
|-----------|-----------|-----------|
| Acci      | Ail/fra   | 0,0005306 |
| Ail/fraNO | Sca/fra   | 1,993e-07 |
| Pass      | Ail/fraNO | 0,002701  |
| Pat/fra   | Sca/fraNO | 0,001381  |
| Pat/fraNO | Sca/fra   | 0,001381  |
| Stri      | Te/hem    | 4,905e-05 |
| Acci      | Sca/fraNO | 0,04124   |
| Col       | Cav/rup   | 0,02243   |
| Sca/fra   | Te/fra    | 0,02599   |
| Col       | Te/fraNO  | 1         |

|         |           |         |
|---------|-----------|---------|
| Stri    | Te/fra    | 0,1286  |
| Pass    | Te/fra    | 0,234   |
| Pass    | Sca/fra   | 0,2711  |
| Col     | Sca/fra   | 0,3271  |
| Stri    | Sca/fra   | 1       |
| Sca/fra | Ail/rupNO | 0,06087 |
| Acci    | Ail/rup   | 0,07128 |
| Stri    | Te/rup    | 0,136   |
| Pat/fra | Cav/rup   | 0,331   |
| Stri    | Te/fra    | 0,8169  |
| Te/fra  | Sca/fra   | 0,05947 |
| Col     | Te/rup    | 0,1196  |
| Col     | Ail/rupNO | 0,1382  |
| Stri    | Pat/fra   | 0,8342  |
| Col     | Pat/fraNO | 0,8664  |
| Cav/rup | Te/rup    | 1       |

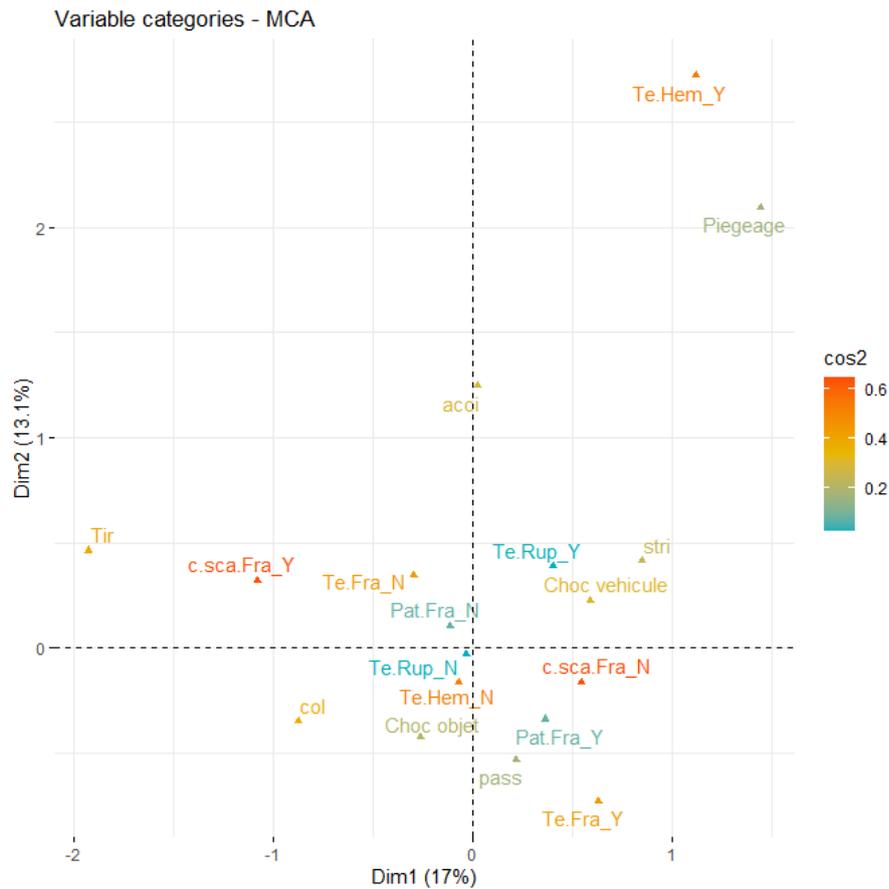
*Annexe 32 Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple et les ordres des données issues du centre de soin de la faune sauvage de l'ENVT*



Annexe 33 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée sans les individus ayant comme modalité Cav/rup\_Y ou Ail/fra\_Y depuis les données de l'ENVT



Annexe 34 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée sans les individus ayant comme modalité Cav/rup\_Y, Ail/fra\_Y, Ail/rup\_Y ou Electrocutation depuis les données de l'ENVT



Annexe 35 Graphique de la qualité de représentation des différentes variables via leurs modalités dans l'analyse ACM avec tous les couples lésionnels, les ordres et les causes d'entrée sans les individus ayant comme modalité Cav/rup\_Y, Ail/fra, Ail/rup\_Y, Electrocutation ou Predation depuis les données de l'ENVT

| Couple1       | Couple2       | P-Value   |
|---------------|---------------|-----------|
| Acci          | Tir           | 0,0002776 |
| Acci          | Ail/fra       | 0,0005306 |
| Acci          | Ail/fra       | 0,0005306 |
| Stri          | Choc vehicule | 0,001404  |
| Pass          | Ail/fraNO     | 0,002701  |
| Tir           | Ail/fra       | 0,00346   |
| Pred          | Cav/rup       | 4,31e-05  |
| Elec          | Ail/rup       | 4,666e-05 |
| Stri          | Te/hem        | 4,905e-05 |
| Choc objet    | Te/fra        | 0,01037   |
| Choc vehicule | Te/hem        | 0,1092    |

|                  |            |           |
|------------------|------------|-----------|
| Pass             | Te/fra     | 0,234     |
| Pass             | Sca/fra    | 0,2711    |
| Choc<br>vehicule | Te/fra     | 0,3646    |
| Pass             | Choc objet | 0,4695    |
| Choc objet       | Pat/fra    | 0,723     |
| Tir              | Ail/rup    | 0,7795    |
| Stri             | Te/fra     | 0,8169    |
| Elec             | Ail/rup    | 4,666e-05 |
| Acci             | Ail/rup    | 0,07128   |
| Col              | Sca/fra    | 0,3271    |
| Stri             | Te/fra     | 0,8169    |
| Pred             | Te/rup     | 0,02478   |
| Col              | Te/fraNO   | 1         |
| Te/fraNO         | Sca/fraNO  | 0,05947   |
| Tir              | Sca/fra    | 0,2878    |

Annexe 36 Tableau récapitulatif des corrélations trouvées en variables lors de l'analyse couple/couple, les ordres et les causes d'entrée des données issues du centre de soins de la faune sauvage de l'ENVT

| Couple1 | Couple2   | P-value |
|---------|-----------|---------|
| Ans     | Cav/oed   | 0,03    |
| Ans     | Cou/hemNO | 0,04    |
| Cav/fra | Cav/rup   | >0,01   |
| Cico    | Cav/fra   | >0,01   |
| Cou/rup | Cav/rup   | 0,05    |
| Gall    | Cav/rup   | >0,01   |

Annexe 37 Tableau récapitulatif des associations significatives trouvées à partir des données issues d'Epifaune

| Couple1    | Couple2   | P-value |
|------------|-----------|---------|
| Acci       | Sca/fraNO | 0,04    |
| Ail/rup    | Pat/fraNO | >0,01   |
| Ail/rup    | Te/fraNO  | 0,03    |
| Choc objet | Te/fra    | >0,01   |
| Col        | Cav/rup   | 0,02    |

|         |                  |       |
|---------|------------------|-------|
| Col     | Choc<br>vehicule | 0,03  |
| Col     | Pred             | 0,04  |
| Pat/fra | Ail/rupNO        | >0,01 |
| Pat/fra | Ail/fra          | 0,02  |
| Pred    | Sca/fraNO        | 0,02  |
| Pred    | Te/rup           | 0,02  |
| Pred    | Ail/rup          | 0,04  |
| Sca/fra | Te/fra           | 0,03  |
| Te/fra  | Ail/rupNO        | 0,03  |
| Te/hem  | Ail/fraNO        | 0,05  |

*Annexe 38 Tableau récapitulatif des associations significatives trouvées à partir des données issues du centre de soins de l'ENVT*

**NOM:** Rouaud **PRENOM:** Louis

**TITRE :** Etude rétrospective des lésions associées aux traumatismes physiques chez les oiseaux et les chiroptères sauvages en France

**RESUME :** La recherche de l'étiologie d'un traumatisme est parfois difficile, particulièrement pour la faune sauvage. Pour mieux comprendre les associations entre étiologie traumatique, lésions et groupes d'espèces, NOus avons, dans un premier temps, réalisé une synthèse bibliographique relative aux traumatismes chez les oiseaux et les chiroptères. Dans un second temps, l'analyse des données nécropsiques de cadavres de l'avifaune et de chiroptères collectés par le réseau SAGIR de l'Office Français de la Biodiversité entre 2014 et 2022, ainsi que des dossiers médicaux des oiseaux et chiroptères admis au Centre de Soins de la faune sauvage de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse entre 2016 et 2021 a mis en évidence des associations entre lésions, groupes d'espèces et types des traumatismes. Ces résultats pourront servir de pistes dans l'identification des causes de traumatismes lors d'autopsies, et participer à la distinction entre les différentes causes traumatiques, dans un contexte de surveillance épidémiologique.

**MOTS-CLES :** Traumatisme, collision, lésions, fractures, mortalité, oiseaux, chiroptères, analyse factorielle

---

**TITLE:** Retrospective study of lesions associated with physical trauma in wild birds and bats in France

**ABSTRACT:** The identification of the etiology of a trauma is sometimes difficult, especially for wildlife. In order to better understand the associations between traumatic etiology, lesions and species groups, we first produced a synthesis of the bibliography relating to trauma in birds and chiroptera. In a second step, the analysis of necropsy data from dead birds and bats collected by SAGIR network of the French Office for Biodiversity between 2014 and 2022, as well as from medical records of birds and bats admitted to the Wildlife care center of the National Veterinary School of Toulouse between 2016 and 2021, highlighted associations between lesions, species groups and nature of trauma. These results could be used as keys in the identification of the causes of trauma during post-mortem examinations of birds or bats, and thus participate in the distinction between the different traumatic causes, in the context of epidemiological surveillance.

**KEY WORDS:** Trauma, collision, lesions, fractures, mortality, birds, chiroptera, multivariate analysis