



HAL
open science

Étude de la nécrobacillose chez *Osphranter rufus* et *Notamacropus rufogriseus* en captivité

William Vezinet

► **To cite this version:**

William Vezinet. Étude de la nécrobacillose chez *Osphranter rufus* et *Notamacropus rufogriseus* en captivité. Médecine vétérinaire et santé animale. 2023. dumas-04269214

HAL Id: dumas-04269214

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04269214v1>

Submitted on 3 Nov 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.

ETUDE DE LA NECROBACILLOSE CHEZ OSPHRANTER RUFUS ET NOTAMACROPUS RUFOGRISEUS EN CAPTIVITE

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

VEZINET William, Augustin, Paul

Directeur de thèse : M. Guillaume LE LOC'H

JURY

PRESIDENT :

M. Philippe JACQUIET

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :

M. Guillaume LE LOC'H

Mme Séverine BOULLIER

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITEE :

Mme Dorothée ORDONNEAU

Docteure vétérinaire en charge du CERZA

**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. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- 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*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
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 **BOHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
M. **COMBARROS Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
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*
M. **FUSADE-BOYER**, *Microbiologie et infectiologie*
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. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales règlementées*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

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 **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*
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 **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*
Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*
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*
Mme **SAADA Chloé**, *Gestion intégrée de la santé des ruminants*

Remerciements

A mon jury de thèse,

A Monsieur Philippe JACQUIET

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Parasitologie

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.
Veuillez trouver ici l'expression de mes hommages respectueux.

A Monsieur Guillaume LE LOCH

Maître de conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

NAC, Faune sauvage

Merci pour votre disponibilité et votre confiance en moi pour porter à bien ce projet.
Très sincères remerciements.

A Madame Séverine BOULLIER

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Immunologie

Qui nous a fait l'honneur d'accepter de prendre part à ce jury de thèse.
Veuillez trouver ici l'expression de mes hommages respectueux.

Et,

A Madame Dorothee ORDONNEAU

Docteur vétérinaire en charge du CERZA

Qui est à l'origine de ce projet de thèse et qui a pris le temps de me fournir les clés pour mener à bien ce projet.
Très sincères remerciements.

Table des matières

Page de garde	<u>Erreur ! Signet non défini.</u>
Remerciements	2
Liste des figures	8
Liste des tableaux	10
Liste des abréviations	11
Introduction	12
Partie 1 : Synthèse bibliographique de la nécrobacillose chez les macropodes	14
I] Caractères généraux des espèces d'intérêts	15
A. Taxonomie	15
A.1 Super-ordre des Marsupiaux.....	15
A.1.1 Classification des Marsupiaux	15
A.1.2 Caractéristiques des Marsupiaux.....	16
A.2 Ordre des <i>Diprotodontia</i>	16
A.2.1 Caractéristiques des <i>Diprotodontia</i>	16
A.2.2 Classification des <i>Diprotodontia</i>	16
A.3 Sous-ordre des Macropodiformes.....	17
A.4 Famille des <i>Macropodidae</i>	17
A.4.1 Caractéristiques des <i>Macropodidae</i>	17
A.4.2 Classification des <i>Macropodidae</i>	19
A.5 Sous-famille des <i>Macropodinae</i>	19
A.5.1 Caractéristiques des <i>Macropodinae</i>	19
A.5.2 Classification des <i>Macropodinae</i>	19
B. Genre <i>Macropus</i> et espèces d'intérêts	20
B.1 Distribution géographique	21
B.2 Morphologie	23
B.3 Alimentation.....	24
B.4 Locomotion.....	24
B.4.1 La démarche à cinq membres	24
B.4.2 Le saut bipède.....	25
B.4.3 Consommation énergétique du déplacement	25
B.5 Mode de vie.....	26
B.5.1 Structure sociale	26
B.6 Reproduction	27
B.6.1 Cycles sexuels	27
B.6.2 Saillie.....	27
B.6.3 Développement du jeune	28
B.7 Physiologie	28
B.7.1 Les sens	28
B.7.2 Physiologie cardiaque	29

B.7.3 Physiologie respiratoire.....	29
B.7.4 Physiologie rénale.....	30
B.7.5 Physiologie digestive.....	30
B.7.6 Métabolisme.....	34
C. Statut dans la nature et conservation.....	35
C.1 Menaces.....	35
C.2 Statut de conservation.....	35
C.3 Effectifs en captivité.....	36
C.4 Programmes d'élevage.....	36
C.5 Espérance de vie et longévité.....	36
C.6 Utilisation.....	37
C.6.1 Présentation au public.....	37
C.6.2 Nouvel animal de compagnie.....	38
C.6.3 Production de viande.....	38
D. Maintien en captivité et paramètres zootechniques.....	39 39
D.1 Conditions d'hébergement.....	39
D.2 Alimentation.....	40
D.3 Composition du groupe.....	42
D.4 Reproduction.....	43
D.5 Bien-être animal.....	43
II] La Nécrobacillose.....	44
A. La progression molaire.....	44
B. Agents infectieux.....	45
B.1 Fusobacterium necrophorum.....	45
B.2 Autres bactéries associées.....	45
C. Epidémiologie.....	46 46
C.1 Espèces concernées.....	46 46
C.2 Mode de transmission.....	46
C.3 Facteurs prédisposants.....	46
D. Signes cliniques.....	47
E. Diagnostic.....	48
F. Pronostic.....	49
G. Traitement.....	49
G.1 Traitement chirurgical.....	50
G.2 Traitement médical.....	51
H. Prévention.....	52
H.1 Vaccin.....	52
H.2 Mesures d'hygiène.....	53
H.3 Gestion du stress.....	53
Partie 2 : Etude expérimentale et questionnaire.....	55

I] Etude de cas : le CERZA	56
A. Matériel et méthodes	56
A.1 Présentation du CERZA.....	56
A.2 Conditions d'hébergement au CERZA.....	56
A.3 Cohorte d'étude.....	59
B. Résultats	61
B.1 Prévalence	61
B.2 Traitement	61
B.3 Cultures bactériologiques.....	62
B.4 Mortalité.....	63
B.5 Suivi détaillé d'un cas : M19139	63
II] Enquête auprès des parcs zoologiques européens	69
A. Objectif de l'étude	69
B. Matériels et méthodes	69
B.1 Questionnaire	69
B.2 Analyse des données.....	70
C. Résultats du questionnaire pour les kangourous roux	70
C.1 Instituts ayant répondu et effectifs actuels.....	70
C.2 Gestion de l'enclos.....	72
C.2.1 Taille de l'enclos et densité	72
C.2.2 Nature du substrat	73
C.2.3 Contact avec visiteurs et/ou d'autres espèces	74
C.3 Logement intérieur	75
C.3.1 Nombre et taille des box	75
C.3.2 Litière et revêtement	75
C.3.3 Température.....	76
C.3.4 Accès permanent ou semi-permanent.....	77
C.4 Alimentation	77
C.4.1 Accès à de la végétation naturelle.....	77
C.4.2 Composition de la ration	77
C.4.3 Supplémentation	78
C.4.4 Modes de distribution.....	78
C.5 Nécrobacillose	78
C.5.1 Statut physiologique.....	79
C.5.2 Age moyen	79
C.5.3 Récidive et létalité.....	80
C.5.4 Examens complémentaires.....	80
C.5.5 Résultats bactériologiques.....	81
C.5.6 Traitement	82
C.5.7 Vide sanitaire	82

C.5.8 Procédures chirurgicales effectuées.....	83
C.5.9 Antibiothérapie	83
C.5.10 Importance de la nécrobacillose	83
C.5.11 Intérêt pour un autovaccin.....	83
C.5.12 Valeurs p obtenues	84
D. Résultats du questionnaire pour les wallabys de Bennett	85
D.1 Instituts ayant répondu et effectifs actuels.....	85
D.2 Gestion de l'enclos.....	86
D.2.1 Taille de l'enclos et densité	86
D.2.2 Nature du substrat	87
D.2.3 Contact avec des visiteurs et/ou d'autres espèces	88
D.3 Logement intérieur	88
D.3.1 Nombre et taille des box	88
D.3.2 Litière et revêtement	89
D.3.3 Température	89
D.3.4 Accès permanent ou semi-permanent.....	89
D.4 Alimentation	90
D.4.1 Accès à de la végétation naturelle	90
D.4.2 Composition de la ration	90
D.4.3 Supplémentation	90
D.4.4 Conditions de distribution.....	91
D.5 Nécrobacillose	91
D.5.1 Statut physiologique.....	92
D.5.2 Age moyen	92
D.5.3 Récidive et létalité.....	93
D.5.4 Examens complémentaires.....	94
D.5.5 Résultats bactériologiques.....	94
D.5.6 Traitement	95
D.5.7 Vide sanitaire	96
D.5.8 Procédures chirurgicales	96
D.5.9 Antibiothérapie	96
D.5.10 Importance de la nécrobacillose	96
D.5.11 Intérêt pour un autovaccin.....	96
D.5.12 Valeurs p obtenues	96
E. Discussion	97
E.1 Interprétation des résultats.....	97
E.1.1 Kangourou roux.....	97
E.1.2 Wallaby de Bennett	100
E.2 Limites et biais	102
Conclusion	106

Bibliographie	109
Annexes	116
Annexe A : composition analytique détaillée des granulés Kasper® spécial Macropodes.....	116
Annexe B : Questionnaire à destination des parcs zoologiques européens hébergeant des kangourous roux.....	117

Liste des figures

<u>Figure 1</u> : Doigts du membre postérieur gauche de <i>Osphranter rufus</i>	18
<u>Figure 2</u> : Doigts du membre antérieur gauche de <i>Notamacropus rufogriseus</i>	18
<u>Figure 3</u> : Carte de répartition du Kangourou roux à l'état sauvage	21
<u>Figure 4</u> : Carte de répartition du Wallaby de Bennett à l'état sauvage	22
<u>Figure 5</u> : Kangourou roux adulte	24
<u>Figure 6</u> : Wallaby de Bennett adulte	24
<u>Figure 7</u> : Silhouettes de kangourou selon le mode de déplacement	25
<u>Figure 8</u> : Mâchoire supérieure de kangourou roux adulte	31
<u>Figure 9</u> : Représentation schématique de la progression molaire sur une mâchoire supérieure (en vue latérale).....	32
<u>Figure 10</u> : Estomac de kangourou roux adulte	33
<u>Figure 11</u> : Echelle de classification des espèces menacées selon l'IUCN	35
<u>Figure 12</u> : Pyramide des âges pour les kangourous roux en captivité	37
<u>Figure 13</u> : Tissus nécrotiques sur le palais dur et la langue de kangourous roux atteints de nécrobacillose.....	48
<u>Figure 14</u> : Chemin des visiteurs dans l'enclos des kangourous roux du CERZA.....	57
<u>Figure 15</u> : Enclos des kangourous roux du CERZA	57
<u>Figure 16</u> : Box dans les logements intérieurs des kangourous roux du CERZA	58
<u>Figure 17</u> : Exemple de carte d'identité d'un animal enregistré sur ZIMS	59
<u>Figure 18</u> : Plaie de nécrobacillose sur M19139 avant et après débridement	65
<u>Figure 19</u> : Historique médical de M19139 de son arrivée au CERZA jusqu'à sa mort.....	67
<u>Figure 20</u> : Mandibule inférieure de M19139 avec traces d'ostéolyse	68
<u>Figure 21</u> : Taille des enclos pour les kangourous roux des parcs	72
<u>Figure 22</u> : Espace disponible par kangourou roux dans les enclos des centres sondés	73
<u>Figure 23</u> : Substrats présents dans les enclos des kangourous roux.....	74
<u>Figure 24</u> : Matériaux utilisés pour le sol des logements intérieurs des kangourous.....	75
<u>Figure 25</u> : Matériaux utilisés pour la litière des logements intérieurs des kangourous.....	76
<u>Figure 26</u> : Températures maintenues dans les logements intérieurs.....	76
<u>Figure 27</u> : Aliments composant la ration des kangourous	77
<u>Figure 28</u> : Prévalence de nécrobacillose chez les kangourous roux hébergés dans les centres sondés les 10 dernières années	78
<u>Figure 29</u> : Répartition des statuts physiologiques des kangourous roux atteints de nécrobacillose ...	79
<u>Figure 30</u> : Age moyen d'apparition des signes cliniques de nécrobacillose chez les kangourous roux	80
<u>Figure 31</u> : Examens complémentaires réalisés en cas de nécrobacillose chez les kangourous roux	81
<u>Figure 32</u> : Traitements employés en cas de nécrobacillose chez les kangourous roux	82
<u>Figure 33</u> : Taille des enclos pour wallabys des centres sondés	86
<u>Figure 34</u> : Espace disponible par wallaby dans les centres sondés.....	87

<u>Figure 35</u> : Substrats présents dans les enclos des wallabys.....	87
<u>Figure 36</u> : Matériaux utilisés pour le sol des logements intérieurs des wallabys.....	89
<u>Figure 37</u> : Aliments composant la ration des wallabys	90
<u>Figure 38</u> : Prévalence de nécrobacillose chez les wallabys de Bennett hébergés dans les centres sondés les 10 dernières années	91
<u>Figure 39</u> : Répartition des statuts physiologiques des wallabys atteints de nécrobacillose	92
<u>Figure 40</u> : Age moyen d'apparition des signes cliniques de nécrobacillose chez les wallabys	93
<u>Figure 41</u> : Taux de récurrence de nécrobacillose chez les wallabys	93
<u>Figure 42</u> : Taux de létalité de nécrobacillose chez les wallabys	94
<u>Figure 43</u> : Traitements employés en cas de nécrobacillose chez les wallabys de Bennett	95

Liste des tableaux

<u>Tableau 1</u> : Paramètres relatifs à la reproduction chez <i>N. rufogriseus</i> et <i>O. rufus</i>	28
<u>Tableau 2</u> : Effectifs de kangourous roux et de wallabys de Bennett en captivité à la date du 08 Août 2023.....	36
<u>Tableau 3</u> : Ordre de grandeur des besoins journaliers en azote, en fibres, en protéines et en vitamine E du Wallaby de Bennett à l'entretien	41
<u>Tableau 4</u> : Liste des différentes causes de mortalité pour les kangourous roux au CERZA entre janvier 2013 et mars 2023	60
<u>Tableau 5</u> : Liste des différentes causes de mortalité pour les wallabys de Bennett au CERZA entre janvier 2013 et mars 2023	60
<u>Tableau 6</u> : Liste des différentes bactéries identifiées chez les animaux atteints de nécrobacillose au CERZA.....	63
<u>Tableau 7</u> : Données sur les structures hébergeant des kangourous roux	71
<u>Tableau 8</u> : Liste des espèces partageant l'enclos des kangourous roux	74
<u>Tableau 9</u> : Liste des bactéries retrouvées lors de cultures issues de cas de nécrobacillose de kangourous roux.....	81
<u>Tableau 10</u> : Valeurs p associées aux variables explicatives chez le Kangourou roux.....	84
<u>Tableau 11</u> : Données sur les structures hébergeant des wallabys de Bennett.....	85
<u>Tableau 12</u> : Liste des espèces partageant l'enclos des wallabys de Bennett	88
<u>Tableau 13</u> : Liste des bactéries retrouvées lors de cultures issues de cas de nécrobacillose de wallabys de Bennett	95
<u>Tableau 14</u> : Valeurs p associées aux variables explicatives chez le Wallaby de Bennett	97

Liste des abréviations

AIPMMA = Antibiotic-impregnated Poly-methyl Methacrylate

CBD = Cannabidiol

IM = Intramusculaire

IV = Intraveineuse

PO = Per-os

SC = Sous-cutanée

Introduction

De plus en plus de kangourous et de wallabys sont détenus dans les zoos et parcs animaliers du monde. Deux espèces sont particulièrement concernées par cet essor : le Kangourou roux (*Osphranter rufus*) et le Wallaby de Bennett (*Notamacropus rufogriseus*). Néanmoins, leur maintien en captivité ne peut reproduire parfaitement les conditions de vie à l'état sauvage, et ils peuvent être sujets à des affections différentes de celles retrouvées dans la nature. L'une des principales affections rencontrée en captivité est la nécrobacillose. Cette maladie, aussi appelée « lumpy-jaw » touche particulièrement la cavité buccale et entraîne principalement un arrêt de l'alimentation évoluant vers un amaigrissement puis la mort. Sa prévalence est forte chez les populations en captivité, alors que les cas rapportés en milieu naturel sont anecdotiques.

Dans une première partie nous situerons d'abord *Osphranter rufus* et *Notamacropus rufogriseus* dans la taxonomie animale afin de rappeler leurs particularités physiques et biologiques. Nous ferons ensuite une synthèse bibliographique de la nécrobacillose et son approche médicale. Puis, à partir d'une étude de cas et d'une enquête menée auprès des centres européens hébergeant ces espèces, nous essaierons d'établir un bilan de la prévalence de la nécrobacillose aujourd'hui ainsi que des facteurs zootechniques d'influence.

Partie 1 : Synthèse bibliographique de la nécrobacillose chez les macropodes

Nous allons dans un premier temps présenter nos deux espèces d'intérêts, le Kangourou roux et le Wallaby de Bennet, en les établissant dans la taxonomie et en décrivant leurs principales caractéristiques anatomiques et physiologiques.

Puis, nous établirons une synthèse des connaissances actuelles sur la nécrobacillose, son étiologie et son épidémiologie chez ces espèces, ainsi que les mesures de lutte connues à ce jour.

I] Caractères généraux des espèces d'intérêts

Afin de pouvoir comprendre pourquoi et comment la nécrobacillose est devenue une problématique majeure chez certains macropodes en captivité, il est important de connaître leurs bases anatomiques, physiologiques et comportementales. C'est pourquoi il faut situer nos deux espèces d'intérêt dans la classification du règne animal afin de préciser leurs particularités et exposer leurs points communs et leurs différences.

A. Taxonomie

A.1 Super-ordre des Marsupiaux

A.1.1 Classification des Marsupiaux

Les Marsupiaux actuels sont endémiques d'Amérique et d'Australie-Nouvelle-Guinée. Leur répartition géographique à l'état sauvage est donc limitée. Il existe néanmoins une certaine diversité au sein de ce super-ordre. En effet, ils peuvent avoir des habitats (désert, forêt...) et des modes de vie (terrestre, arboricole, souterrain, aquatique ou aérien) très divers. Leur régime alimentaire est spécialisé selon les espèces en insectivore, carnivore ou herbivore.

Il existe différentes classifications des Marsupiaux. La plus commune et la plus admise reste celle de Kirsch, basée sur données sérologiques et qui estime qu'ils représentent 6% des Mammifères vivants. D'après celle-ci, le super-ordre des Marsupiaux est divisé en 3 ordres : *Polyprotodontia*, *Paucituberculata* et *Diprotodontia*. Une autre classification plus récente est celle de Wilson et Reeder, elle décrit sept ordres, dont deux en Amérique (*Didelphimorphia* et *Paucituberculata*) et cinq en Australie-Nouvelle-Guinée (*Microbiotheria*, *Dasyuromorphia*, *Peramelemorphia*, *Notoryctemorphia* et *Diprotodontia*)

Les Marsupiaux se distinguent des autres Mammifères par plusieurs critères zoologiques [6, 28, 64].

A.1.2 Caractéristiques des Marsupiaux

- Dentition :

La denture des Marsupiaux est hétérodonte, avec une distribution asymétrique des incisives entre les mâchoires inférieures et supérieures. La formule dentaire fondamentale est I 5/4, C 1/1, PM 3/3, M 4/4. Celle-ci peut varier selon les espèces, allant de 24 à 50 dents. Seule PM3 est soumise au remplacement et considérée comme une dent de lait ^[10].

- Métabolisme :

Le métabolisme basal des Marsupiaux est inférieur d'environ 30% à celui des Euthériens ^[57].

A.2 Ordre des *Diprotodontia*

A.2.1 Caractéristiques des *Diprotodontia*

Les individus de l'ordre des *Diprotodontia* se caractérisent par leur dentition :

- ils ne possèdent qu'une seule paire d'incisives sur la mâchoire inférieure, celles-ci sont larges et quasiment horizontales.
- chaque héli-mâchoire supérieure possède au maximum trois incisives.
- ils ne possèdent pas de canines sur les mâchoires inférieures.

Ce sont également des animaux syndactyles : les doigts 2 et 3 de leurs membres pelviens sont soudés ^[50].

A.2.2 Classification des *Diprotodontia*

L'ordre des *Diprotodontia* est subdivisé en trois sous-ordres : ^[28]

- Sous-ordre des Macropodiformes
- Sous-ordre des Phalangeriformes
- Sous-ordre des Vombatiformes

A.3 Sous-ordre des Macropodiformes

Le sous-ordre des Macropodiformes est composé de trois familles : [28]

- Famille des *Hypsiprymodontidae*
- Famille des *Macropodidae*
- Famille des *Potoroidae*

A.4 Famille des Macropodidae

La famille des Macropodidae est une famille diverse dont les individus présentent tout de même des traits particuliers en commun. Toutes les remarques d'ordre général qui vont suivre ne concernent pas le Rat musqué-kangourou (*Hypsiprymnodon moschatus*) qui possède ses propres particularités.

A.4.1 Caractéristiques des Macropodidae

- Morphologie :

Les *Macropodidae* peuvent varier en taille, allant de 30 cm (*Hypsiprymnodon moschatus*) à 280 cm de long (*Osphranter rufus*), queue comprise. Ils se distinguent par des membres postérieurs longs et étroits, ce qui justifie le nom de la famille (du grec « Macro » = « grand » et « podo » = « pied »).

Leur fourrure est le plus souvent épaisse et drue. Leur tête est relativement petite avec de grandes oreilles. Ils possèdent une queue longue et puissante, non préhensile [18].

- Locomotion :

A l'exception de *Hypsiprymnodon moschatus* et du genre *Dendrolagus*, les *Macropodidae* se déplacent essentiellement par le biais de sauts bipèdes rendus possibles par leurs membres postérieurs développés et puissants. Ceux-ci ne possèdent pas de premier orteil. Les deuxième et troisième orteils sont fusionnés mais avec des griffes séparées et sont utilisés pour le nettoyage. Le quatrième orteil est le plus long et le plus fort, et le cinquième orteil est de taille intermédiaire (figure 1).

Les membres antérieurs sont beaucoup plus courts et les mains possèdent cinq doigts séparés terminés par des griffes. Ils servent principalement à l'équilibre et à la préhension (figure 2).

La queue sert de balancier et leur course en sauts peut atteindre jusqu'à 20 km/h [68].



Figure 1 : Doigts du membre postérieur gauche de *Osphranter rufus* ^[14]



Figure 2 : Doigts du membre antérieur gauche de *Notamacropus rufogriseus* ^[14]

- Alimentation :

Les *Macropodidae* ont un régime herbivore. Leur dentition est bien adaptée à cette alimentation avec la formule dentaire $I \frac{3}{1} C \frac{0}{0} PM \frac{2}{2} M \frac{4}{4} = 32$ dents. Certaines espèces possèdent une paire de canines supérieures, et donc 34 dents au total. Les incisives sont particulièrement développées sur la mâchoire inférieure et possèdent une croissance continue. Elles servent à la préhension de la nourriture ^[10].

Un diastème assez large sépare les incisives des dents jugales (prémolaires et molaires). Ces dernières sont larges, ce qui permet un broyage efficace des aliments, souvent durs. L'usage des molaires entraîne cycliquement leur chute lorsqu'elles sont trop usées, puis la repousse d'une nouvelle génération de dents. Le renouvellement s'effectue en moyenne trois fois durant la vie de l'animal.

A l'instar des ruminants placentaires, les *Macropodidae* parviennent à dégrader les fibres végétales qu'ils ingèrent par le biais de bactéries présentes dans leur estomac. Celui-ci est relativement grand et possède une poche dédiée à cette fermentation ^[53].

- Reproduction :

La gestation des *Macropodidae* dure en général entre 30 et 40 jours. Les portées ne sont que rarement constituées de plus d'un seul petit, qui va ensuite poursuivre son développement dans le marsupium. Il passe par un stade de larve marsupiale avant de devenir un juvénile, puis de sortir de la poche.

Il arrive souvent que la femelle s'accouple à nouveau suite à la naissance du premier jeune. L'embryon ainsi conçu entre alors en phase de diapause embryonnaire : son développement s'arrête au stade d'une centaine de cellules et ne reprend que lorsque le précédent nouveau-né a libéré la poche. Ce phénomène permettrait de palier à la petite taille des portées qui, associée aux conditions climatiques difficiles et aux faibles ressources disponibles dans leur milieu naturel, constitue un risque pour la survie de l'espèce [18]. Les femelles sont ainsi capables d'avoir trois générations de descendants simultanément : un juvénile capable de marcher, un nouveau-né dans la poche attaché à une tétine, et une blastula en diapause dans l'utérus [41].

A.4.2 Classification des *Macropodidae*

La famille des *Macropodidae* comprend à l'heure actuelle 11 genres et 62 espèces présentes dans toute l'Océanie. Elles sont réparties en deux sous-familles : [28]

- Sous-famille des *Sthenurinae*, aujourd'hui uniquement représentée par le lièvre wallaby rayé *Lagostrophus fasciatus*
- Sous-famille des *Macropodinae*

A.5 Sous-famille des *Macropodinae*

La sous-famille des *Macropodinae* comprend tous les individus communément appelés kangourous, wallabys et wallarous.

A.5.1 Caractéristiques des *Macropodinae*

Les *Macropodinae* sont de gabarits variés. Ils peuvent peser entre 1,5 kg et 95 kg et mesurer de 6,5 cm à 280 cm de long. Le dimorphisme sexuel est généralement marqué avec les mâles plus imposants que les femelles.

Ils possèdent une tête relativement allongée avec un museau légèrement pointu. Ils ne possèdent pas de canine [6].

A.5.2 Classification des *Macropodinae*

La sous-famille des *Macropodinae* est subdivisée en plusieurs genres : [28]

- genre *Dendrolagus*
- genre *Dorcopsis*
- genre *Dorcopsulus*

- genre *Lagorchestes*
- genre *Macropus*
- genre *Notamacropus*
- genre *Onychogalea*
- genre *Osphranter*
- genre *Petrogale*
- genre *Setonix*
- genre *Thylogale*
- genre *Wallabia*

En 2019, une réévaluation de la taxonomie des macropodes a déterminé que *Osphranter* et *Notamacropus*, anciennement considérés comme des sous-genres de *Macropus*, devraient être déplacés au niveau du genre. Ce changement a été accepté par l'Australian Faunal Directory en 2020.

Par la suite, l'appellation « Macropodes » fera référence à la sous-famille des *Macropodinae*.

B. Genre *Macropus* et espèces d'intérêts

Le Kangourou roux et le Wallaby de Bennett, que nous étudions ici, sont des espèces qui appartenaient anciennement toutes deux au genre *Macropus*. Dans le cadre de cette étude, elles ont l'avantage d'être en effectifs suffisamment importants en captivité pour fournir un lot conséquent de données, et d'avoir des différences significatives dans leur biologie et leur mode de vie qui peuvent servir de points de comparaison. Elles partagent cependant des points communs à toutes les espèces du taxon.

L'ancienne classification du genre *Macropus* regroupait 13 espèces :

- les kangourous : *Macropus giganteus*, *Macropus fuliginosus*, *Macropus rufus*
- les wallabys : *Macropus eugenii*, *Macropus parma*, *Macropus agilis*, *Macropus rufogriseus*, *Macropus dorsalis*, *Macropus parryi*, *Macropus irma*
- les wallarous : *Macropus robustus*, *Macropus antilopinus*, *Macropus bernadus*

Depuis 2020, le genre *Macropus* ne contient plus que *M. giganteus* et *M. fuliginosus*. Les deux anciens sous-genres regroupent le reste des espèces : ^[28]

- genre *Notamacropus* : *N. agilis*, *N. dorsalis*, *N. eugenii*, *N. irma*, *N. parma*, *N. parryi*, *N. rufogriseus*

- genre *Osphranter* : *O. antilopinus*, *O. bernadus*, *O. robustus*, *O. rufus*

La distinction entre kangourous, wallabys et wallarous est arbitraire et s'effectue principalement sur des critères de taille et de poids. En général, les kangourous désignent les espèces de plus grand gabarit, suivis des wallarous de taille intermédiaire, et les wallabys sont les plus petits.

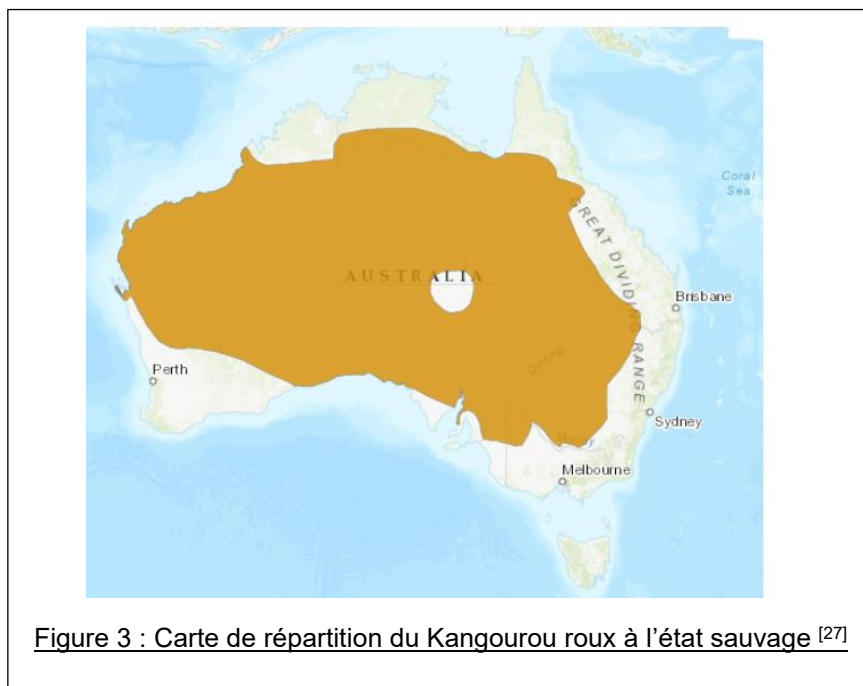
B.1 Distribution géographique

Toutes les espèces des genres *Macropus*, *Notamacropus* et *Osphranter* vivent en région australienne, dont la diversité des reliefs et des climats expliquent la diversité retrouvée dans ces espèces.

- *Osphranter rufus* :

Osphranter rufus, appelé Kangourou roux, est le plus grand et le plus connu des *Macropodinae*. Il est souvent le premier à apparaître dans les esprits lorsque le nom « kangourou » est mentionné.

Adaptée aux climats secs et arides, cette espèce est à son aise en savane ou plaine où les arbres et arbustes sont rares. C'est pourquoi on la trouve sur tout l'intérieur de l'Australie continentale (figure 3). Ils évitent les zones à forte pluviométrie telle que le nord, la côte est et la pointe sud-ouest du pays [2, 12, 13].



- *Notamacropus rufogriseus* :

Notamacropus rufogriseus est l'espèce de wallaby la plus connue. Elle comprend deux sous-espèces :

- *Notamacropus rufogriseus banksianus*, le Wallaby à cou rouge, est la sous-espèce qui vit uniquement sur l'Australie continentale.

- *Notamacropus rufogriseus rufogriseus*, le Wallaby de Bennett, est également présent sur les îles et en Tasmanie (figure 4).

Contrairement au Kangourou roux, cette espèce préfère les zones boisées et le maquis australien que l'on retrouve essentiellement le long de la côte est. Elle est également présente sur l'île de Tasmanie et les îles du détroit de Bass situées entre cette dernière et le continent [13, 41].



Une population sauvage a été accidentellement introduite en France depuis les années 1970 suite à la fuite d'individus de la réserve zoologique de Sauvage du parc du château de Sauvage dans les Yvelines. Cette population aurait atteint la centaine d'individus et était vraisemblablement maintenue stable grâce aux fuites récurrentes d'individus depuis cette même réserve. Cependant, depuis sa fermeture en 2017, la population semble avoir nettement diminué et serait possiblement quasiment éteinte aujourd'hui, aucun individu n'ayant été aperçu depuis 2019.

B.2 Morphologie

La tête est relativement petite et porte de grandes oreilles. La queue sert de balancier et de point d'appui supplémentaire lorsque l'animal est assis.

La fourrure est généralement épaisse et grossière, avec un pelage allant des tons brun-gris au roux vif.

Le dimorphisme sexuel est marqué chez la plupart des individus du genre *Macropus*, les mâles sont plus massifs et ont un pelage plus vif que les femelles [6, 50].

- Kangourou roux :

Le Kangourou roux est le plus grand des *Macropodinae*, et également le plus grand des marsupiaux. Le mâle adulte peut mesurer de 1,30 m à 1,60 m de long (tête et corps) avec une longueur de queue de 1 m à 1,20 m. Les femelles sont moins imposantes avec une taille allant de 0,85 m à 1,05 m et une longueur de queue allant de 0,65 m à 0,85 m. Les mâles pèsent en moyenne de 50 kg à 95 kg, et les femelles de 20 kg à 35 kg.

Les mâles produisent une poudre vermeille au niveau de la gorge et de la poitrine. Ils s'en enduisent le corps, ce qui leur confère leur couleur rousse. La femelle a un pelage plus gris avec des reflets roux et le ventre est gris pâle. Chez les deux sexes les membres et la queue sont plus clairs. Les extrémités des membres sont noires. Le faciès est marqué par des tâches noires et blanches (figure 5).

Leur fourrure est courte, dense, souple et laineuse. La partie supérieure de leur museau est couverte de poils.

- Wallaby de Bennett :

Le mâle adulte peut mesurer de 0,7 m à 0,9 m de long (tête et corps) avec une longueur de queue de 0,69 m à 0,87 m. Les femelles ont une taille allant de 0,66 m à 0,83 m et une longueur de queue allant de 0,62 m à 0,79 m. Les mâles pèsent en moyenne de 15 kg à 20 kg, et les femelles de 10 kg à 15 kg.

Le Wallaby de Bennett se caractérise par le noir à l'extrémité de son nez, de ses membres et de ses oreilles. La lèvre inférieure est marquée d'une ligne blanche. La robe est

grisonnante avec des reflets rouges plus ou moins marqués sur les épaules. Les femelles ont le pelage plus terne que les mâles.

Leur fourrure est épaisse, ce qui leur permet de supporter le froid de l'hiver océanique. Leur museau est dénudé sur le dessus (figure 6).



Figure 5 : Kangourou roux adulte (image libre de droit)



Figure 6 : Wallaby de Bennett adulte (image libre de droit)

B.3 Alimentation

Les *Macropus* ont un régime herbivore strict. Ce sont en majorité des brouteurs ^[50].

- Kangourou roux :

Dans leur environnement aride, ils se nourrissent principalement d'herbes et de graminées. Ils peuvent supporter jusqu'à trois semaines sans boire.

- Wallaby de Bennett :

La végétation est diverse dans leur habitat. Ils peuvent se nourrir d'herbes, de feuilles, de racines, d'écorces, de bourgeons et de fruits. En général, l'eau contenue dans l'alimentation suffit à satisfaire leurs besoins hydriques, ils ne boivent qu'en cas de forte chaleur.

B.4 Locomotion

La morphologie particulière des Macropodes permet des modes de déplacement uniques. Selon leur activité et leur vitesse de déplacement, ils utilisent essentiellement deux modes de locomotion ^[13, 18, 50].

B.4.1 La démarche à cinq membres

Lorsqu'ils broutent, les Macropodes adoptent une démarche particulière appelée « démarche sur cinq membres ». En effet, ils se servent alors de leur queue comme 5^{ème}

membre pour s'appuyer et avancer. Ils se servent de leurs membres antérieurs et de leur queue comme appui pour ramener leurs membres postérieurs en avant, au niveau des antérieurs. Ils s'appuient alors sur leurs membres postérieurs pour poser leurs membres antérieurs plus loin en avant (figure 7).

Cette démarche est lente et n'excède pas les 6 km/h.

B.4.2 Le saut bipède

Le mode de locomotion principal des Macropodes est ce qu'on appelle le saut bipède. Cette démarche peut correspondre à des vitesses intermédiaires à rapides. Les membres antérieurs n'ont plus de contact avec le sol, et la queue joue un rôle à la fois de balancier et de gouvernail. Ce sont les membres postérieurs qui enclenchent le déplacement par une propulsion dont l'intensité détermine la vitesse.

Chez le Kangourou roux, un saut mesure en moyenne 1,5 m de long à faible vitesse et 10 m quand la vitesse est élevée. La hauteur maximale est d'environ 3,5 m. Avec l'augmentation de l'allure, la fréquence de saut reste constante mais la durée du contact pieds-sol diminue. Ainsi, c'est la longueur de chaque bond et non la fréquence de saut qui augmente avec la vitesse.

La vitesse minimale est de 6 km/h, la vitesse maximale enregistrée est de 80 km/h mais ne peut être maintenue que sur de courtes distances. En général, la vitesse de croisière est maintenue autour de 30 km/h, et 50 km/h pendant la fuite.



Figure 7 : Silhouettes de kangourou selon le mode de déplacement : démarche lente à "5 pieds" (ligne du haut), saut bipède à vitesse faible (ligne du milieu) ou élevée (ligne du bas) ^[13]

B.4.3 Consommation énergétique du déplacement

La démarche à cinq membres est coûteuse en énergie, c'est pourquoi elle reste relativement occasionnelle en dehors des repas.

En revanche, le saut bipède est beaucoup plus économique que la course d'autres animaux de gabarit similaire. Chez le Kangourou roux et plusieurs espèces de wallabys, le taux d'énergie métabolique consommée (J/kg/s) est le même que ce soit à vitesse lente (7 km/h) ou plus rapide (22 km/h). Ainsi, le coût du transport (J/kg/m) diminue avec la vitesse de saut. Par ailleurs, une autre étude a montré que les kangourous roux préfèrent se déplacer à des vitesses plus lentes pour éviter des stress trop importants au niveau de leurs tendons [33].

B.5 Mode de vie

Les individus des genres *Macropus*, *Notamacropus* et *Osphranter* ont tous un mode de vie crépusculaire à nocturne. Ils se nourrissent de la fin d'après-midi jusqu'à l'aube. Pendant la journée, ils se reposent à l'ombre, font leur toilette ou s'abreuvent. Les différentes espèces ont des structures sociales bien distinctes [50].

B.5.1 Structure sociale

- Kangourou roux

Ils se rassemblent en petits groupes familiaux souvent constitués d'une dizaine d'individus, femelles adultes et leurs jeunes. Les mâles rejoignent le groupe uniquement lorsque les femelles sont en œstrus. Un mâle peut gagner temporairement le contrôle de plusieurs femelles. Cependant, il n'y a généralement pas d'associations permanentes entre individus de sexe opposé.

Il existe une dominance hiérarchique entre les mâles. Ils s'affrontent lors de confrontation à l'aide de leurs membres postérieurs pour déterminer quel mâle aura accès aux femelles. On observe une hiérarchie chez les femelles également.

Lors de sécheresse, il peut arriver que des regroupements de 50 à 200 kangourous se forment sur des sites favorables.

- Wallaby de Bennett

C'est une espèce majoritairement solitaire. Les mâles ne fréquentent les femelles que pour se reproduire. Ces dernières forment des groupes lorsque naissent leurs petits, mais elles se séparent de leur descendance après un mois.

Les mâles sont très agressifs entre eux.

B.6 Reproduction

Une des principales caractéristiques des Macropodes est leur mode de reproduction particulier.

B.6.1 Cycles sexuels

Il existe deux principales stratégies de reproduction qui se différencient par la présence d'un cycle mono-ovulaire ou d'un cycle poly-ovulaire ^[25].

- **Kangourou roux**

Le Kangourou roux a une reproduction non saisonnière ^[49].

Il a un cycle œstral de 35 jours et une gestation de 33 jours. La mise-bas est suivie par un œstrus post-partum au cours duquel une nouvelle copulation est possible ; il y a alors développement d'un deuxième blastocyte qui reste en stade de morula dans l'utérus. Un mois avant la fin du développement du jeune dans la poche ou après que le jeune ait quitté la marsupie prématurément, le blastocyte reprend sa croissance et la naissance survient 31 jours plus tard. Dans les deux jours suivants, un œstrus post-partum se produit puis un anœstrus de lactation ^[37]. Chez les kangourous roux en captivité, l'ovulation se produit environ un jour après l'œstrus, soit à peu près 36 jours après l'œstrus précédent s'il n'y a pas eu gestation, ou dans les deux jours qui suivent la naissance s'il y a eu gestation. La femelle est réceptive pendant 24 heures ^[15].

- **Wallaby de Bennett**

Le Wallaby de Bennett est une espèce à reproduction saisonnière ; la saison de reproduction commence peu après le solstice d'été.

Les femelles montrent des cycles œstraux réguliers sauf en période de lactation. La gestation dure 30 jours. La perte ou la sortie du jeune de la poche entraîne une réactivation du corps jaune puis un œstrus post-partum 27 à 29 jours plus tard. Il en résulte normalement un blastocyte qui reste quiescent jusqu'à la saison de reproduction suivante.

L'augmentation de la photopériode six à huit semaines après le solstice d'hiver induit une quiescence saisonnière de la femelle : la perte ou la sortie du jeune de la poche n'induit alors pas la réactivation du corps jaune ^[9, 39].

B.6.2 Saillie

Les mâles sont capables de détecter les femelles en œstrus. Il y a alors une poursuite suivie d'un agrippement de la queue. Puis, le mâle place son museau au niveau de l'orifice génital femelle en émettant des gloussements rauques. Chez le Kangourou roux, la saillie dure

10 à 25 minutes et se déroule en plusieurs fois. Le mâle introduit son pénis dans le vagin de la femelle pendant quatre minutes puis le ressort deux minutes, ceci trois fois de suite ^[15].

B.6.3 Développement du jeune

Une fois expulsé, le nouveau-né gagne la poche par ses propres moyens, la mère n'aide pas. Il s'accroche à la fourrure maternelle et avance à l'aide de ses membres antérieurs, jusqu'à l'entrée de la poche. Arrivé dans le marsupium en trois à cinq minutes, il se fixe à une mamelle où commence la période de lactation ^[17].

La composition du lait des espèces de Macropodes diffère de celle des autres mammifères. La concentration en composants (protéines et lipides) est supérieure à celle du lait de vache et des protéines spécifiques entrent dans sa constitution dans la seconde moitié de la lactation.

La composition du lait évolue au cours de la lactation : certaines protéines sont produites en continu tandis que d'autres n'apparaissent qu'à la moitié de la période de lactation ^[36, 37, 49].

Les paramètres relatifs à la reproduction du Kangourou roux et du Wallaby de Bennett sont récapitulés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Paramètres relatifs à la reproduction chez *N. rufogriseus* et *O. rufus* ^[15, 18, 25, 50]

Espèce	Maturité sexuelle	Durée de la gestation	Première sortie de la poche	Sortie définitive de la poche	Sevrage
Wallaby de Bennett	M : 19 mois F : 14 mois	30 jours	7-8 mois	225 jours	12-17 mois
Kangourou roux	M : 28-38 mois F : 17-20 mois	32-34 jours	183 jours	235 jours	12 mois

B.7 Physiologie

L'étude de la physiologie des genres *Macropus*, *Notamacropus* et *Osphranter* va nous permettre de mieux comprendre leurs besoins en captivité et leur pathologie.

B.7.1 Les sens

- Vision

La rétine est vascularisée. L'iris est fin et uniformément marron. La pupille est circulaire. Les cils de la paupière supérieure sont longs.

La vue n'est pas très bonne. Les espèces de Macropodes visualisent bien les mouvements mais mal les détails d'un champ de vision lointain. Ainsi, à une distance de 30 mètres, l'angle de vision du Kangourou roux est de 23° [6].

- Olfaction

L'olfaction est un sens très développé chez tous les Macropodes : ce sont des animaux macrosomatiques. Le bulbe olfactif et l'organe voméro-nasal ont une taille importante.

Des tests d'évitement à l'odeur (*odor-cued taste avoidance*) ont été réalisés sur des kangourous roux et ont conclu qu'ils sont capables de reconnaître des odeurs et évite celles associées à un événement désagréable [26].

- Ouïe

L'ouïe est le sens le plus développé à distance. Le pavillon externe des oreilles, d'assez grande taille, est très mobile et peut effectuer des rotations de 180° [6].

B.7.2 Physiologie cardiaque

La fréquence cardiaque au repos des Macropodes a une valeur légèrement inférieure à la moitié de celle des Euthériens de taille comparable. Elle peut se calculer en utilisant la formule suivante :

$$FC = 116 \times M^{-0,24} \quad \text{avec FC : fréquence cardiaque au repos (battements/min)}$$

M : masse corporelle (kg)

Les valeurs physiologiques pour le Kangourou roux et le Wallaby de Bennett sont respectivement de 40 et 130 battements par minute. Ces fréquences basales augmentent lors d'efforts [6, 14].

B.7.3 Physiologie respiratoire

La fréquence respiratoire au repos des Macropodes a une valeur inférieure à celle des Euthériens de taille similaire. Chez les adultes au repos, elle varie de 10 à 60 mouvements par min. On peut la calculer pour un adulte avec la formule suivante :

$$FR = 22,1 \times M^{-0,26} \quad \text{avec FR : fréquence respiratoire au repos (mouvements/min)}$$

M : masse corporelle (kg)

Elle est d'autant plus élevée que l'effort physique est important ^[14].

B.7.4 Physiologie rénale

Le pH urinaire normal des marsupiaux varie de 6 à 8. L'urine peut avoir une coloration rouge, brune ou noire.

Lors de déshydratation, les pertes hydriques d'origine urinaire, fécale ou liées à l'évaporation sont très réduites. L'urine émise en période de sécheresse est donc très concentrée. Les espèces appartenant aux genres *Notamacropus* et *Osphranter* possèdent une quantité d'eau corporelle très importante et peuvent aisément survivre à de fortes sécheresses ^[31].

B.7.5 Physiologie digestive

- Dentition

La dentition est directement liée au régime alimentaire herbivore brouteur des espèces du genre *Macropus*.

La symphyse mandibulaire est cartilagineuse, d'où une mobilité relative des deux hémimâchoires inférieures.

Les incisives sont tranchantes et interviennent dans la préhension des aliments. Elles ont une croissance continue. Quand la bouche est fermée, les incisives supérieures passent devant les incisives inférieures. Ces dernières se dirigent horizontalement vers l'avant.

Il n'y a pas de canines ; les dents labiales et les dents jugales sont séparées par un long diastème (figure 8) ^[6, 10].

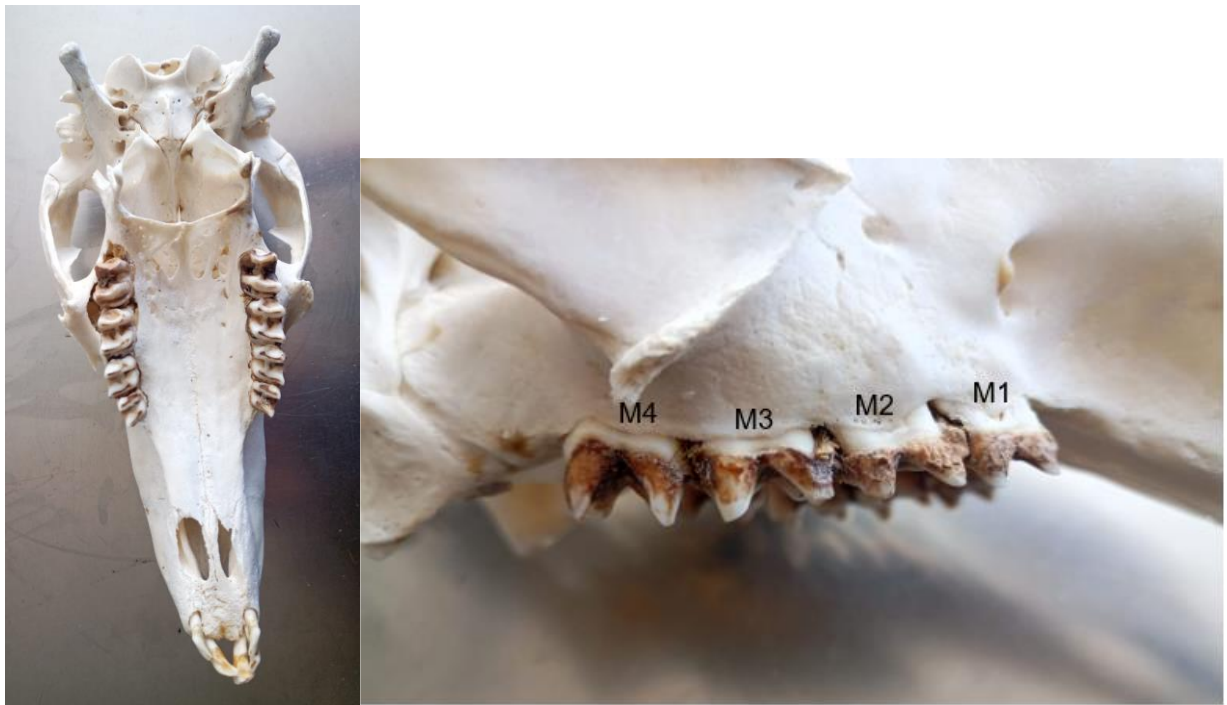
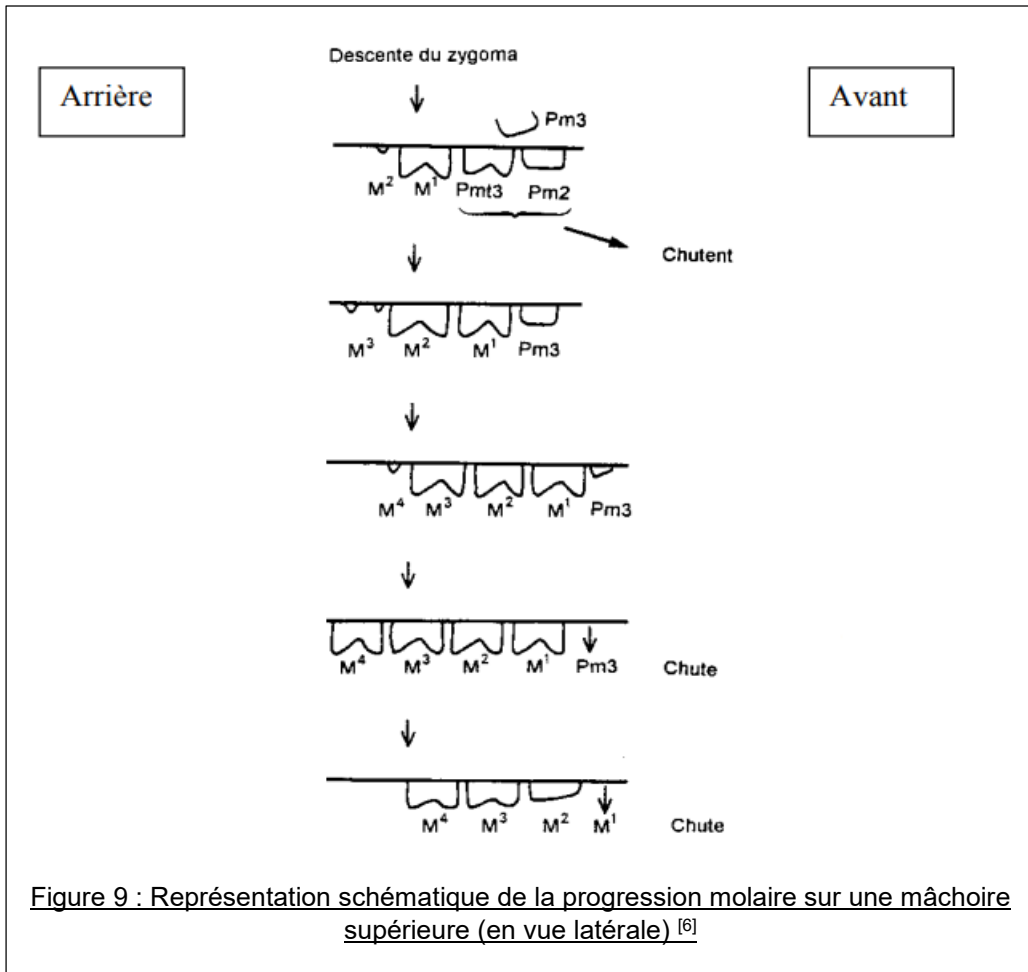


Figure 8 : Mâchoire supérieure de kangourou roux adulte (photo personnelle)

Les dents jugales apparaissant en premier chez le jeune sont, selon la notation américaine, la prémolaire PM2, la prémolaire temporaire PMt3 et la première molaire M1. Puis les molaires font irruption successivement durant plusieurs années. Au bout d'un certain temps, PM2 et PMt3 tombent et laissent place à une unique prémolaire de dilacération PM3 (figure 9). Durant ce développement dentaire et au-delà de l'éruption de M4, les dents avancent continuellement vers l'avant de la mâchoire selon le principe de progression molaire (cf Partie 1.II.A) ^[6].

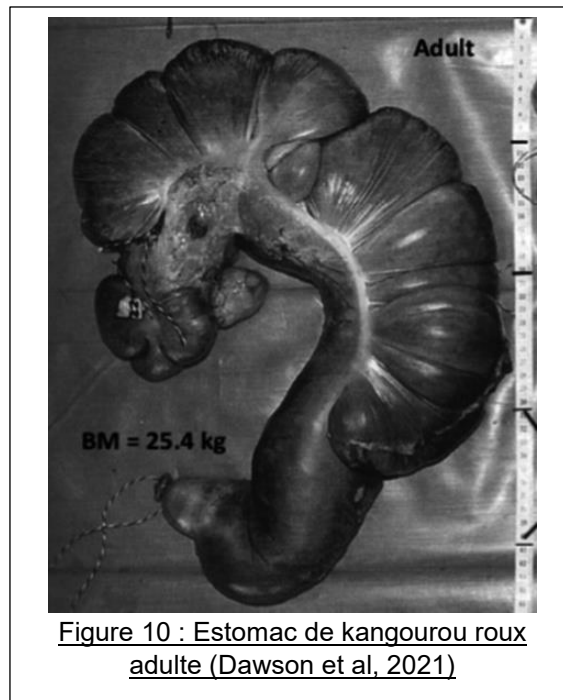


- Estomac

Chez les Macropodes, l'estomac, lieu de la fermentation, est très volumineux. Il est divisé en deux régions principales : la région antérieure et la région postérieure (figure 10).

Le cardia subdivise la région antérieure en deux parties : la partie « sacculaire » en cul-de-sac et la partie « tubulaire » annelée qui s'étend jusqu'à l'estomac postérieur. Ce dernier se poursuit par le pylore, zone de transition avec le duodénum [53].

L'estomac du jeune évolue en parallèle avec son alimentation : il consomme de moins en moins de lait maternel et de plus en plus de fibres végétales. Chez le Kangourou roux, les modifications de taille de l'estomac et du pH du contenu stomacal ont lieu précocement quand le jeune est encore dans la poche (<100 jours) et que son alimentation est entièrement lactée [21].



- La fermentation microbienne

Les Mammifères ne possèdent pas les enzymes endogènes nécessaires à la digestion des fibres végétales. Une fermentation anaérobie par des micro-organismes gastro-intestinaux symbiotiques leur permet une digestion de ces composants.

Chez les Mammifères herbivores, deux principaux types de fermentation existent selon la localisation au niveau du tube digestif (antérieure ou postérieure).

Les Macropodes ont une digestion de type fermentation microbienne antérieure (ou stomacale) sans rumination. Elle existe chez d'autres animaux tels que les Hippopotames, les Colobes et les Paresseux. Elle est à différencier de la fermentation microbienne postérieure présente chez la plupart des autres Mammifères herbivores ; dans ce cas, la fermentation se produit au niveau des caeca (rongeurs, lagomorphes, koalas...) ou du colon (équidés, rhinocéros, éléphants...).

La fermentation microbienne a lieu dans l'estomac antérieur, probablement dans sa partie « tubuliforme ». Ainsi, la digestion est effectuée dans un premier temps par des organismes microbiens puis, dans un second temps seulement, par l'animal lui-même. Ces organismes utilisent des constituants protéiques et non protéiques pour synthétiser des acides aminés et des protéines, sources d'énergie pour l'hôte.

Les bactéries les plus actives dans le microbiote des Macropodes appartiennent au genre *Ruminococcaceae* [51, 53].

B.7.6 Métabolisme

Le métabolisme basal vaut environ 70% de celui des mammifères Euthériens. La température corporelle est basse et constante, entre 35,5 et 36,5°C. Le mode de locomotion bipède, peu coûteux en énergie, est compatible avec ce faible métabolisme.

Les *Macropodinae* ont une thermorégulation très efficace. Différents mécanismes peuvent être mis en jeu : le halètement, la transpiration et le léchage des membres antérieurs. Le halètement est une respiration rapide, bouche ouverte ; c'est une perte de chaleur par évaporation au niveau de l'appareil respiratoire. Ceci peut se produire pendant l'exercice et le repos.

Un autre moyen de maintenir leur température corporelle basse est de se lécher les bras et le poitrail, parfois les membres postérieurs ; en s'évaporant, la salive rafraîchit le corps. La zone léchée au niveau des avant-bras est assez réduite : elle correspond à une région où la vascularisation superficielle (donc les échanges de chaleur) est développée.

La transpiration correspond à une perte de chaleur sous forme de vapeur d'eau par le tégument de l'ensemble du corps. Lors d'exercices, les trois mécanismes interviennent. Au repos, la dissipation de chaleur se fait tout d'abord par halètement. Le léchage est réalisé sous des fortes chaleurs. On n'observe pas de transpiration au repos, ce qui permet une économie d'eau.

Certaines espèces (*Osphranter robustus* notamment) s'abreuvent très peu. Des études ont permis d'expliquer ce fait : moins un animal boit, moins il perd la fraction azotée de son alimentation (végétaux). Ceci leur permet de mieux profiter des plantes pauvres en protéines constituant leur alimentation en milieu semi-désertique [13, 33].

C. Statut dans la nature et conservation

C.1 Menaces

Bien que l'Australie regorge d'espèces venimeuses et de prédateurs terrestres, peu s'attaquent aux Macropodes du fait de leur taille.

Les éleveurs australiens chassent les kangourous et les wallabys sur leurs pâturages parce que ce sont des concurrents pour la nourriture des moutons et des bovins ^[14].

- Kangourou roux

Leur rapidité de fuite et leur grande taille font qu'ils n'ont pas de véritable prédateur à l'état naturel. En revanche, les individus trop jeunes, malades, faibles ou âgés peuvent être prédatés par le Dingo (*Canis lupus dingo*).

La chasse au kangourou (pour sa peau et sa viande) est controversée mais réglementée par des plans de gestion au niveau national visant à maintenir les populations stables.

- Wallaby de Bennett

La chasse effectuée par les éleveurs australiens l'ont fait disparaître de certains de ses habitats naturels. Mais cela reste une espèce résiliente et prolifique.

C.2 Statut de conservation

La plupart des espèces de Macropodes encore vivantes sont classées dans la catégorie « Least Concern » (préoccupation mineure) de l'*International Union for Conservation of Nature* (IUCN) (figure 11). Elles ne sont pour l'instant pas en danger aux vues de la taille des populations et du peu de compétition auxquelles elles font face ^[27].

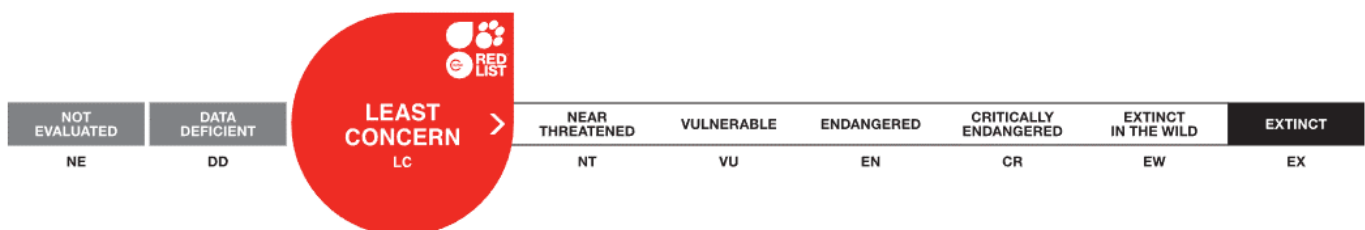


Figure 11 : Echelle de classification des espèces menacées selon l'IUCN ^[27]

De nos deux espèces d'intérêts, seul le Kangourou roux fait partie d'un programme de gestion des populations coordonnées par l'EAZA (European Association of Zoos and

Aquariums). L'objectif de ce programme est de maintenir une population saine d'animaux en bonne santé et de monitorer la tendance de la population.

C.3 Effectifs en captivité

Plusieurs espèces de Macropodes sont maintenues en captivité en accord avec les réglementations internationale et intracommunautaire. Le Kangourou roux et le Wallaby de Bennett sont les deux espèces les plus représentées en captivité dans le monde ^[72].

Les données pour les effectifs des différentes espèces animales en captivité sont consultables sur l'application ZIMS produite par SPECIES360 (cf Tableau 2). Ces effectifs ne prennent en compte que les animaux répertoriés sur ZIMS, et donc hébergés par des structures cotisant auprès de SPECIES360.

Tableau 2 : Effectifs de kangourous roux et de wallabys de Bennett en captivité à la date du 08 Août 2023 ^[72]

Espèce	Mâles	Femelles	Indéterminé	Total	Dont jeunes (< 1an)
Kangourous roux	475	745	223	1443	130
Wallabys de Bennett	947	1117	719	2783	267

C.4 Programmes d'élevage

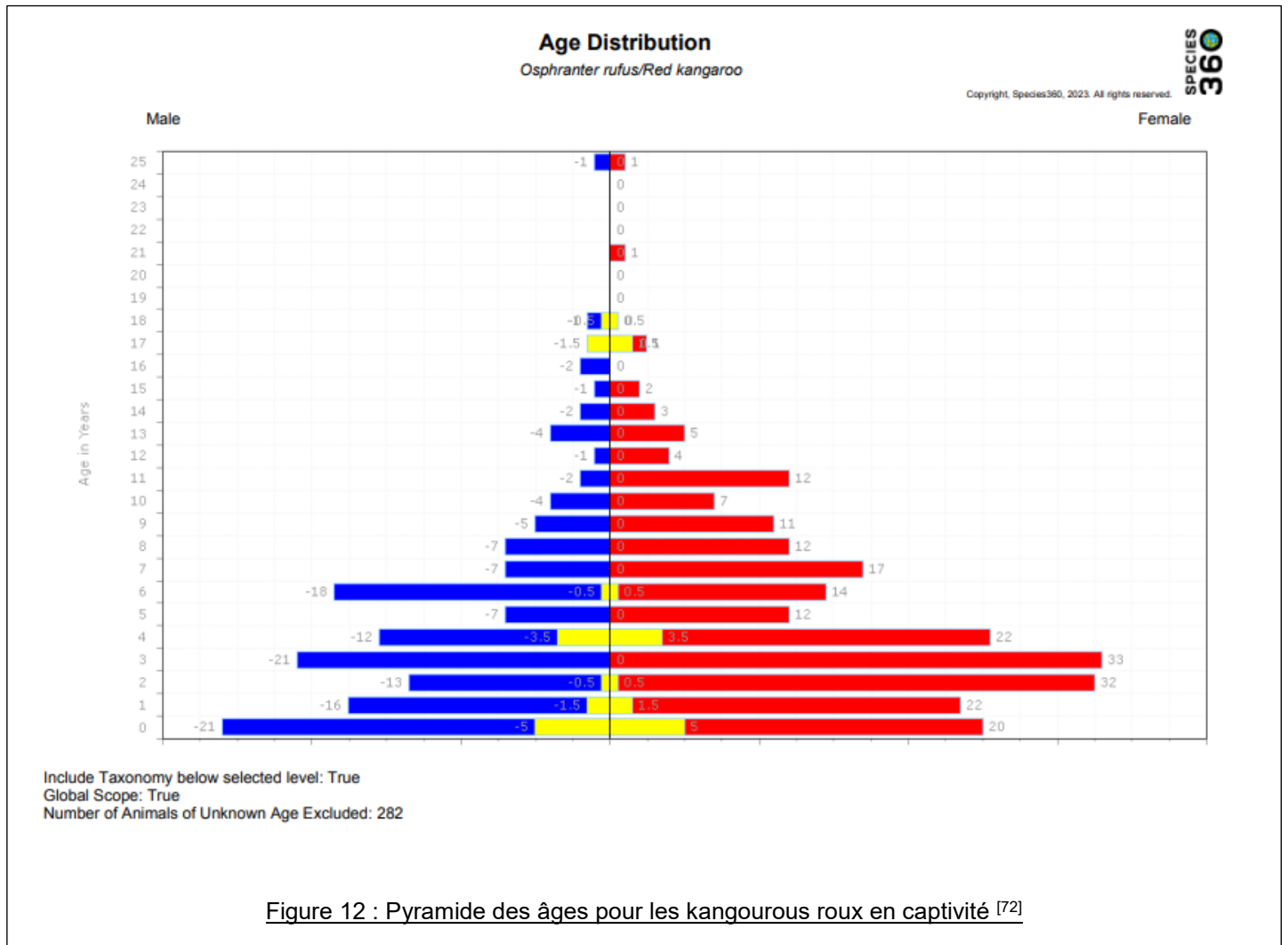
L'ensemble des kangourous roux recensés en captivité sont hébergés par 183 institutions réparties sur l'ensemble de la planète. Les wallabys de Bennett sont quant à eux présents dans 341 institutions différentes, également sur tous les continents ^[72].

Cette présence s'étendant à l'échelle du globe traduit la faculté d'adaptation de ces espèces en dehors de leur habitat naturel.

C.5 Espérance de vie et longévité

Dans la nature, la moitié des kangourous roux meurent avant l'âge de 2 ans et 90% n'atteignent pas les 10 ans. Une minorité d'individus vivent entre 7 et 15 ans. En revanche, certains individus ont déjà vécu jusqu'à 25 ans (figure 12). Cela est surtout le cas chez les populations vivant en captivité.

Le record d'âge enregistré en milieu naturel pour le wallaby de Bennett est quant à lui de 18,6 ans [6].



C.6 Utilisation

Les macropodes sont maintenus en captivité pour diverses raisons.

C.6.1 Présentation au public

On rencontre fréquemment le Kangourou rouge et le Wallaby de Bennett en parc zoologique. L'intérêt est multiple :

- divertissement du public ;
- information du public sur ces espèces et sensibilisation sur les menaces qui pèsent sur leurs populations et sur les mesures de conservation mises en œuvre ;

- recherche scientifique : les Marsupiaux naissent à un stade très précoce de développement par rapport aux Mammifères placentaires ; ils sont facilement accessibles au niveau de la poche. C'est pourquoi les *Macropodidae* sont utilisés pour des études sur le développement et l'immunité. Le Wallaby de Bennett fait partie des espèces les plus étudiées en recherche scientifique.

Ces objectifs correspondent à des points généraux auxquels tout parc zoologique se doit de répondre pour toutes les espèces qu'il détient.

C.6.2 Nouvel animal de compagnie

Notamacropus rufogriseus devient un animal de compagnie de plus en plus récurrent. Sa petite taille, son régime alimentaire et son caractère sont des atouts qui attirent bon nombre de particuliers. Il rentre alors dans la catégorie des NAC. En France, d'après l'arrêté du 8 octobre 2018 fixant les règles générales de détention d'animaux d'espèces non domestiques, une déclaration de détention doit être faite auprès de la DDPP si l'on souhaite posséder entre un et six individus. Au-delà de sept, un certificat de capacité et une autorisation d'ouverture sont nécessaires.

C.6.3 Production de viande

La chair du kangourou est devenue très prisée ces dernières décennies. Au niveau qualitatif, elle est très intéressante car il s'agit d'une viande maigre riche en fer et en protéines. Les épisodes de fièvre aphteuse et de maladie de la vache folle ont fait naître chez les consommateurs européens un nouvel attrait pour la viande de kangourou, notamment en Allemagne, en Belgique, au Danemark et en France.

Les kangourous ont un métabolisme plus bas que les euthériens et une alimentation moins exigeante : ils peuvent se contenter d'une herbe de moins bonne qualité que les herbivores ruminants. Sur ce plan, ils ont donc un meilleur rendement que les moutons et les bovins.

Les espèces prédominantes sur le marché de la viande de kangourou sont *M. giganteus*, *M. fuliginosus* et *N. rufogriseus*.

D. Maintien en captivité et paramètres zootechniques

En captivité, il est fondamental de pouvoir fournir aux animaux hébergés des conditions de vie qui répondent à leurs besoins afin d'éviter l'apparition de certaines affections et d'établir des populations pérennes et viables.

D.1 Conditions d'hébergement

L'environnement dans lequel sont placés les individus doit comporter une partie extérieure, où ils passent la majorité du temps, et une partie couverte où ils peuvent s'abriter des intempéries et de la chaleur ou du froid.

- Dimensions

La taille doit être calculée en fonction du nombre maximal d'individus prévus dans ce groupe afin d'éviter une surpopulation. La densité animale maximale est de 1,5 kangourous ou 3 wallabys pour un enclos de superficie totale de 84 m² [6].

Le risque principal d'une densité trop élevée est la compétition entre les individus qui entraîne des conflits et potentiellement des lésions pouvant s'infecter et aboutir à une lumpy-jaw (cf partie 1.II). Il peut également apparaître une immunodépression ; certaines maladies dont l'incidence est habituellement faible peuvent alors prendre une allure épizootique.

D'autre part, plus il y a d'espace, plus il y aura de chance que la reproduction réussisse. Les dimensions minimums recommandées sont : [25]

- longueur : longueur de la tête et du corps (L) (en mètres) × 8 (minimum : 1,2 m) ;
- largeur : L × 4 (minimum : 0,6 m) ;

Toutefois, plus les dimensions sont importantes, plus l'environnement sera confortable pour les animaux.

- Clôtures

Pour maintenir les espèces des genres *Osphranter* ou *Notamacropus* dans leur enclos, 2 m de hauteur de barrière suffisent puisqu'un saut ne mesure au maximum que 1,5 m de haut sauf cas exceptionnel.

Les clôtures empêchent également les animaux sauvages ou domestiques de pénétrer. Pour cela, elles doivent aller jusqu'à plusieurs centimètres sous terre. Elles peuvent être électrifiées [16, 55].

- Substrat

Le substrat du sol peut être naturel ou artificiel ; il doit être facile à nettoyer, ne pas être abrasif pour les pieds et ne pas stocker l'eau. L'herbe est le substrat le plus adapté pour l'extérieur car il constitue une source de nourriture et évite l'abrasion des pieds.

- Abri

L'abri est indispensable. Il sert à la fois de lieu de repos et de protection contre les températures extrêmes. Il sert également de point d'abreuvement et de nourrissage.

Il peut comporter un ou plusieurs boxes d'isolement par exemple pour des animaux en soin ^[16].

Son sol doit être facile à nettoyer et à désinfecter. Il peut être constitué de terre, d'un revêtement de caoutchouc ou de béton recouvert d'un élément de paillage (paille, copeaux de bois ou de lin, ...). Ce sol ne doit pas être glissant pour prévenir tout risque d'écartèlement.

D.2 Alimentation

- Régime alimentaire

Les Macropodes sont des herbivores brouteurs. La base de l'alimentation en captivité doit donc être de l'herbe et du foin. Il faut privilégier le foin de prairie de bonne qualité, vert et non poussiéreux, ou du foin de luzerne bien pourvu de feuilles, qui se rapprochent le plus de leur alimentation en milieu naturel ^[6]. Les enclos dont le sol est constitué d'herbe sont parfaitement adaptés. Il faut néanmoins limiter le surpâturage qui pourrait entraîner des contaminations fécales, et éliminer les plantes toxiques pour les herbivores domestiques.

- Composition de la ration en captivité

Les granulés pour herbivores constituent un apport d'énergie et de minéraux intéressants. On peut y incorporer des médicaments à administrer par voie orale. Les Macropodes ont des besoins quotidiens élevés en vitamine E. Des granulés spéciaux tel que ceux de la marque Kasper® sont ainsi supplémentés en vitamine E, en plus d'être riches en fibres (Annexe A). Les granulés sont un élément indispensable à la ration, mais ne peuvent substituer en aucun cas la part d'herbe et de foin, nécessaires à la bonne usure des dents.

De plus, des pierres à lécher contenant du calcium et du phosphore peuvent être disposées dans l'enclos.

- Rôle des fibres

Les éléments fibreux sont primordiaux pour user les molaires et provoquer un durcissement des gencives. Les jeunes individus ayant l'habitude d'une alimentation tendre et pauvre en fibres doivent effectuer une transition progressive. Celle-ci peut être réalisée en ajoutant de l'herbe fraîche dont la quantité est diminuée petit à petit alors que celle du foin est augmentée.

En revanche, la ration alimentaire ne doit pas être composée d'aliments abrasifs (foin très sec, grains d'avoine...) qui provoqueraient des micro-lésions et blessures dans la bouche, foyers d'infections à *Fusobacterium necrophorum* (cf. Partie 3)

- Besoin énergétique

Comme nous l'avons déjà décrit, les besoins énergétiques des Marsupiaux sont faibles. La ration alimentaire peut donc être peu énergétique mais il est primordial qu'elle couvre les besoins en fibres, vitamines A et E (tableau 3).

Les besoins énergétiques pour un adulte peuvent être calculés avec la formule suivante : ^[29]

$MB = a \times P^b$ avec : MB (kcal/jour) : métabolisme basal

P (g) : masse corporelle

a = 0,31

b = 0,719

Tableau 3 : Ordre de grandeur des besoins journaliers en azote, en fibres, en protéines et en vitamine E du Wallaby de Bennett à l'entretien ^[52]

Besoin	Ordre de grandeur
Azote	290 à 300 mg N/kg/jour
Protéines	9 % de la ration
Fibres (NDF)	50 à 60 % de la ration
Vitamine E	6 UI/kg

- Exemples de ration

Le zoo du parc Le PAL, situé dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, dans le département de l'Allier, dans la commune de Saint-Pourçain-sur-Besbre distribue la ration suivante pour un groupe de sept wallabys avec trois juvéniles en poche :

- 2 kg de légumes (feuilles de blette, feuilles de céleri branche, concombre, courgette, endives, épinards, haricots verts cuits, salade, rhubarbe)
- 1,4 kg de granulés Kasper® (gamme kangourou et wallaby).
- Foin à volonté
- Branches feuillues selon disponibilité
- Herbe coupée 1 fois par jour en été

L'ensemble de la ration est saupoudrée de curcuma qui est naturellement riche en vitamine E, et les animaux ont accès à de l'herbe naturelle pour brouter.

Le zoo Tierpark situé à Berlin en Allemagne, propose une ration quotidienne modèle pour un wallaby de Bennett adulte moyen :

- 125 g de granulés pour Kangourou (marque non précisée)
- 200 g de salade (laitue, pissenlit, chicorée)
- 300 g de légumes variés (carotte, céleri, betterave, persil, panais, fenouil, tomate, courgette)
- Feuilles à volonté
- Foin à volonté

Les wallabys ont également accès à une pierre à sel à lécher.

- Distribution de la ration

La nourriture doit être distribuée en plusieurs points afin d'éviter la compétition et donc l'agressivité entre les individus. Elle doit être placée dans des auges et non directement sur le sol, ce qui faciliterait les transmissions oro-fécales d'agents pathogènes.

L'eau peut être distribuée par des abreuvoirs automatiques. Elle doit être à disposition à volonté.

D.3 Composition du groupe

- Ratio mâles-femelles

Les Macropodes sont de nature grégaire et doivent être maintenus en groupe. Cependant, il peut exister des conflits entre mâles, issus de la compétition pour les femelles. Il y a plusieurs possibilités de composition du groupe : groupe de femelles sans mâle, groupe de femelles avec un seul mâle, groupe de mâles sans femelles, ou un groupe multi-mâles-multi-femelles. Tout cela dépend énormément de la taille de l'enclos disponible et du sex-ratio du groupe.

Dans tous les cas, l'enclos doit être suffisamment vaste pour qu'il n'y ait pas d'agression entre les individus. En cas de conflits entre mâles, il est possible d'en castrer certains.

- Mélange d'espèces différentes

Plusieurs espèces de Macropodes peuvent cohabiter dans le même environnement sans entrer en conflit. Il faut toutefois faire attention car des hybridations sont possibles.

Il est également possible de mixer des animaux issus de familles différentes dans le même enclos.

D.4 Reproduction

Le Kangourou roux et le Wallaby de Bennett étant classées LC sur la liste rouge de l'UICN du fait de leur abondance, ces espèces ne font pas partie de programmes de reproduction à visée conservatoire. Il revient donc aux instituts les hébergeant de contrôler la reproduction à leur guise.

D.5 Bien-être animal

- Systèmes biologiques mis en jeu face à un stress

Face à une situation stressante, trois principaux systèmes biologiques sont mis en jeu : le comportement, le système nerveux autonome et le système endocrinien.

La réponse comportementale est souvent la réponse la plus simple et la plus économique sur le plan biologique. Il peut s'agir d'un déplacement pour s'éloigner de la menace, de vocalisations ou de réactions stéréotypées. Ainsi, chez les wallabys, kangourous et wallarous, des réactions de fuite et des grognements sont produits lors de stress ^[45].

Si la réponse comportementale ne permet pas à l'animal de retrouver son calme ou si le stimulus stressant est trop intense, une modification de ses fonctions biologiques dépendant du système endocrinien ou nerveux autonome se produit ^[47]. Ces perturbations biologiques peuvent provoquer une baisse d'immunité et donc une plus grande sensibilité à des affections.

- Evaluation du stress

De nombreuses recherches considèrent qu'une augmentation de la sécrétion des corticoïdes se produit face à un stress. Le niveau plasmatique en cortisol est un bon indicateur du stress lié à la capture et au transport de plusieurs espèces sauvages ^[47]. Cependant, ceci semble ne pas être valable chez les Macropodes. Une étude réalisée chez *N. eugenii* conclue que la concentration sérique en cortisol n'est pas corrélée au stress. En effet, la concentration sérique en corticostéroïdes varie beaucoup d'un individu à l'autre et il n'y a pas de différence significative de la concentration sérique en corticoïdes selon que l'animal soit soumis à un stress ou pas ^[42,43].

II] La Nécrobacillose

La Nécrobacillose, ou syndrome « lumpy-jaw » est la maladie bactérienne la plus fréquente chez les macropodes en captivité. Des cas ont aussi été rapportés à l'état sauvage. Elle se développe principalement dans la cavité buccale des macropodes, au niveau des gencives, mais peut également concerner les membres pelviens. Elle se manifeste par une inflammation aiguë des tissus mous évoluant vers une nécrose purulente formant un abcès, avec une lyse osseuse et une réaction périostée minime.

A. La progression molaire

Le phénomène de progression molaire est important à comprendre pour expliquer l'installation de la maladie.

La progression molaire est un phénomène qui existe chez plusieurs espèces de *Macropodinae*, dont *O. rufus* et *N. rufogriseus*. Elle est à relier à leur régime alimentaire. Elle se traduit par une chute et un renouvellement constant des dents jugales.

Chaque dent fait irruption à l'arrière de la mâchoire, puis prend successivement la place de celle qui la précède au fur et à mesure de l'usure. Arrivée à l'avant de la mâchoire, la dent la plus rostrale tombe. Ainsi, un individu adulte est doté de molaires dont certaines sont usées et d'autres viennent tout juste d'apparaître ^[6].

Ce phénomène se produit régulièrement tout au long de la vie. Ceci permet de maintenir une dentition et donc un meulage efficace des végétaux ingérés de façon quasi-constante ^[10,52].

La vitesse de renouvellement dépend essentiellement de l'alimentation des animaux, ainsi que de l'usure engendrée par cette alimentation. A partir de ce taux de renouvellement, on peut estimer un « indice de progression molaire » qui permet d'estimer un âge approximatif de l'individu [5].

Ce phénomène est souvent mis en avant comme un facteur favorisant l'apparition de la nécrobacillose. En effet, la chute de la dent jugale usée ouvre une brèche dans la muqueuse buccale qui peut être une voie d'entrée pour de nombreux agents pathogènes. De plus, une alimentation non adaptée peut engendrer une mauvaise usure des dents. Cela favorise la stagnation d'aliments et d'agents pathogènes, ce qui peut résulter en des infections opportunistes [10, 35].

B. Agents infectieux

B.1 Fusobacterium necrophorum

La nécrobacillose est essentiellement due à *Fusobacterium necrophorum*. Elle peut être présente seule ou associée à d'autres bactéries.

F. necrophorum est une bactérie Gram négatif, anaérobie stricte, non sporulante. Elle est divisée en deux sous-espèces :

- *F. necrophorum* subsp. *necrophorum*, souche pathogène chez les animaux
- *F. necrophorum* subsp. *funduliforme*, souche pathogène chez l'Homme.

Il est à noter que subsp. *funduliforme* est retrouvée dans le tube digestif de plusieurs espèces d'animaux, sans pour autant montrer de caractère pathogène. Elle ferait donc partie de leur flore commensale [20, 65].

Par la suite, *F. necrophorum* désignera uniquement subsp. *necrophorum*.

B.2 Autres bactéries associées

La majorité des bactéries associées, isolées au niveau des lésions de nécrobacillose, sont anaérobies strictes et Gram négatif. On trouve principalement *Bacteroides* spp. (*B. oralis*, *bivius*, *fragilis*...) en nombre important, mais également *Actinomyces* spp. et *Fusobacterium nucleatum*. Des bactéries aérobies ou anaérobies facultatives sont également fréquemment trouvées mais en faible quantité [52, 62, 63].

C. Epidémiologie

C.1 Espèces concernées

F. necrophorum est une bactérie commensale très répandue du système digestif des Mammifères. C'est aussi un agent pathogène important chez les humains (subsp. *funduliforme*), les animaux domestiques (surtout les ruminants) et les espèces sauvages, essentiellement les Macropodes et les Artiodactyles [20, 63].

Le Kangourou roux et la Wallaby de Bennett semblent être des espèces particulièrement sensibles à la nécrobacillose. Cela s'explique par leur dentition et alimentation et par la pathogénicité de la bactérie. En effet, *F. necrophorum* a naturellement une faible capacité à envahir un épithélium intact. L'infection provient généralement d'une contamination fécale de la peau ou des muqueuses endommagées. La dentition inhabituelle des *Macropodidae* et la présence d'aliments abrasifs favorisent les dégâts de la muqueuse buccale et donc l'apparition d'une nécrobacillose [64, 66].

A ce jour, très peu de cas de nécrobacillose ont été recensés dans la nature chez les macropodes [58].

C.2 Mode de transmission

F. necrophorum ne sporule pas mais peut survivre dans le milieu extérieur pendant plusieurs mois grâce à une protection apportée par d'autres bactéries aérobies.

La contamination se fait essentiellement par voie oro-fécale. *F. necrophorum* est excrétée par régurgitation ou dans les selles, et des individus peuvent l'ingérer lors de la prise alimentaire. Si des lésions sont présentes sur la muqueuse orale, l'agent pathogène a alors une voie d'entrée [58].

En étudiant les fèces de wallabys affectés, on ne l'a retrouvé que chez très peu d'individus. On pense donc que la bactérie n'est que faiblement excrétée dans le milieu en temps normal. Néanmoins, une perturbation de la microflore gastro-intestinale pourrait conduire à une multiplication intestinale de *F. necrophorum* puis à une excrétion pouvant être responsable d'une dissémination et d'une contamination des autres individus du groupe [65].

C.3 Facteurs prédisposants

Certains facteurs prédisposent à l'infection :

- Les traumatismes sont à l'origine de lésions pouvant constituer une porte d'entrée pour *F. necrophorum* par sa capacité à se développer sur des muqueuses ou un tégument endommagés. Par conséquent, une blessure sur un membre arrière favorise l'apparition d'une lésion de nécrobacillose à ce niveau ; une muqueuse buccale endommagée par des aliments abrasifs sera plus susceptible d'être infectée ; une périodontite est souvent signe avant-coureur d'une nécrobacillose ;
- Une mauvaise hygiène des enclos et une surpopulation peuvent favoriser une contamination fécale de l'environnement ;
- Le stress provoque une diminution des défenses immunitaires de l'animal, d'où l'importance de facteurs zootechniques adaptés ;
- Une hypovitaminose A tend à rendre le tégument et les muqueuses plus fragiles [20, 65, 87].

D. Signes cliniques

Les principaux signes cliniques se caractérisent par une déformation de la face due à la formation d'abcès dentaires (« lumpy-jaw » signifiant littéralement « mâchoire bosselée »). On observe également une hypersalivation, un écoulement buccal plus ou moins purulent provenant de l'abcès, un jetage purulent oculaire ou nasal, souvent unilatéral et ipsilatéral à l'abcès, et une halitose caractéristique.

Les signes d'appel qu'observent les soigneurs sont la déformation de la face mais aussi les avant-bras mouillés (les animaux atteints se frottent les mâchoires et y déposent de la salive), des grincements de dents, un amaigrissement, des plaies au niveau de la gorge, des ulcères de la cornée.

L'inflammation des tissus mous environnant et la douleur provoquent une diminution de l'ingestion du foin d'où une baisse de l'état général et un amaigrissement. Dans les cas extrêmes, l'abattement et l'anorexie justifient l'euthanasie de l'animal face à l'absence de perspectives d'amélioration.

On peut également avoir une atteinte des membres postérieurs ou des organes internes (estomac, foie, rate), avec ou sans atteinte buccale. Lors d'une atteinte buccale, la présence de nombreuses bactéries dans la bouche prédispose à l'infection du système digestif, surtout de l'estomac. On peut également avoir un passage des bactéries par voie respiratoire et apparition d'une pneumonie. Le passage peut aussi se faire par voie sanguine provoquant une atteinte de divers organes.

Les zones de nécrose sont nettement démarquées des tissus adjacents sains. Les lésions orales peuvent s'étendre aux surfaces buccales, à la langue, au pharynx, aux gencives, aux tissus parodontaux ou aux sinus (figure 13) [58].

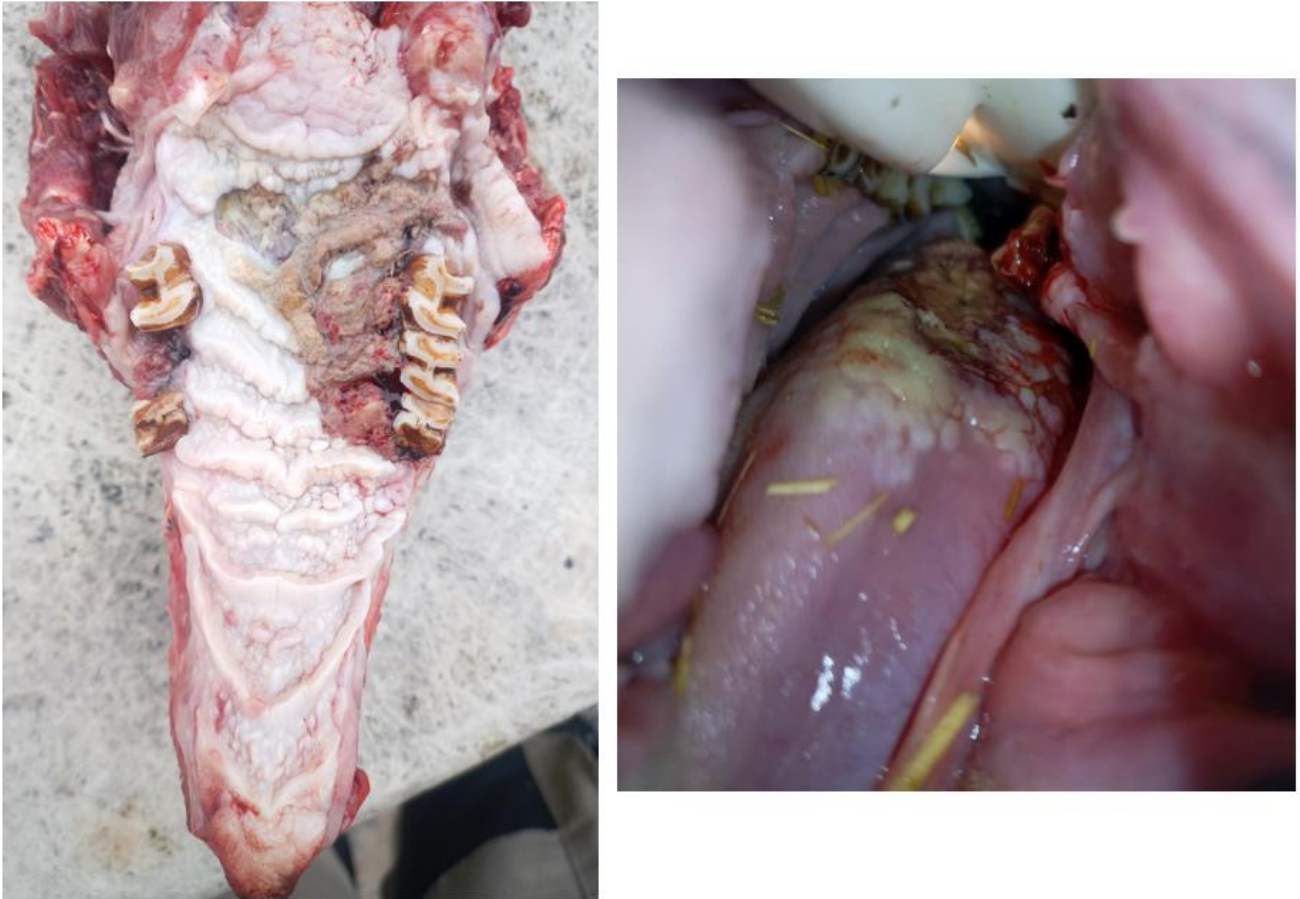


Figure 13 : Tissus nécrotiques sur le palais dur et la langue de kangourous roux atteints de nécrobacillose (photos personnelles)

E. Diagnostic

Il n'existe pas de signe clinique pathognomonique de la nécrobacillose. La suspicion se base sur la présence des signes cliniques vus précédemment. Le diagnostic étiologique peut être confirmé par examen bactériologique et identification des bactéries au niveau des tissus atteints. Les cultures à base de pus peuvent toutefois échouer et donnent régulièrement un résultat négatif.

La radiographie permet d'objectiver l'étendue de l'atteinte osseuse. La réalisation de clichés radiographiques en incidence oblique latérale permet théoriquement d'individualiser les racines des quatre molaires et d'évaluer l'étendue de l'atteinte et donc d'établir un

pronostic, bien qu'une acquisition d'image par scanner de la tête reste plus précise et permette un meilleur diagnostic [11, 38].

Une étude sur les paramètres hématologiques de wallabys de Bennett atteints de nécrobacillose a montré que certaines modifications sont observées chez les animaux infectés : [22]

- le taux de fibrinogène est augmenté : ceci signe la présence d'une infection et d'une inflammation et n'est donc pas pathognomonique ; c'est la modification la plus marquée.
- les granulocytes neutrophiles sont modifiés chez la plupart des animaux atteints : leur nombre est augmenté ; le ratio granulocytes neutrophiles/lymphocytes est supérieur à la normale ; certains granulocytes neutrophiles ont des anomalies morphologiques ; ces changements mettent en évidence une infection bactérienne sévère et ne sont pas pathognomoniques.
- le nombre de monocytes est augmenté chez quelques individus présentant des lésions faciales ;
- les granulocytes basophiles sont absents chez tous les animaux malades alors qu'on en dénombre chez les wallabys sains.

Le meilleur moyen pour juger de la profondeur des lésions, et l'état de la dentition reste toutefois l'examen direct visuel de la cavité buccale.

F. Pronostic

Le pronostic de la nécrobacillose est réservé. Il est d'autant plus défavorable que l'os est infecté et que les lésions sont localisées dans la cavité buccale.

Les récurrences au site d'infection après le traitement sont fréquentes et le taux de survie un an après l'arrêt du traitement est faible [58].

Plus la maladie est diagnostiquée tôt, plus le pronostic est favorable. Ainsi la façon dont les animaux sont élevés a un impact sur le pronostic. Un élevage en mode extensif ne permettra pas par exemple une détection précoce des signes cliniques.

G. Traitement

Plus le traitement est démarré précocement, plus les chances de réussite sont importantes. La prise en charge est double et comprend une association de traitements chirurgicaux et médicaux.

G.1 Traitement chirurgical

Le traitement chirurgical consiste en un débridement des zones lésées pour enlever les tissus nécrosés. Il est associé à un rinçage abondant. Le tout se fait sous anesthésie générale.

Lors d'une lésion du pied, l'amputation du doigt central ne semble pas être gênante pour l'animal. Les soins post-opératoires consistent en un nettoyage quotidien de la plaie avec de l'eau oxygénée et la pose d'un bandage léger ^[35, 38]

Lors de lésions orales avec infection péri-alvéolaire, il est nécessaire de pratiquer une exérèse des dents atteintes, un large débridement des tissus nécrosés environnant, un curetage de l'os atteint et de rincer abondamment avec une forte pression (solution saline stérile, eau oxygénée 10 volumes, solution de métronidazole, solution d'enrofloxacin 5% ou solution de benzilpénicilline, par exemple). Il est conseillé de réaliser une hémimandibulectomie dans les cas de nécrobacillose réfractaire ou d'atteinte importante de la mandibule. Cette opération peut être nécessaire pour permettre une guérison. Le résultat est satisfaisant sur le plan esthétique et l'animal reprend rapidement une alimentation normale.

Le site chirurgical doit dans tous les cas être laissé ouvert ou s'il est large, il peut être comblé pour éviter une recontamination. Le débridement, le retrait des débris accumulés et le flush avec de la chlorhexidine solution diluée à 0,05% doivent être poursuivis une à deux fois par jour jusqu'à disparition des lésions. Cela peut être contraignant lorsque la lésion est buccale car une anesthésie est nécessaire à chaque fois ^[10, 14, 30, 38]. Suite à l'intervention chirurgicale, divers traitements sont décrits :

- On peut utiliser une mèche de chlorbutanol laissée *in situ* pendant deux semaines puis retirée. Ses propriétés analgésiques et antiseptiques contribuent au traitement.
- On peut également fabriquer un onguent à base de métronidazole et de pommade ophtalmique antibiotique.
- L'ajout de billes de polyméthacrylate imprégnées d'antibiotique (AI-PMMA) ou de matrice osseuse artificielle imprégnée d'antibiotique permet d'obtenir une concentration d'antibiotiques plus élevée au niveau de la lésion.
- Lorsque la zone nécrosée débridée est très étendue, il est possible d'utiliser une pièce de tissu musculo-cutané du trapèze pour pratiquer une reconstruction avec des tissus sains permettant un bon apport vasculaire et par conséquent une cicatrisation et guérison plus rapides.

G.2 Traitement médical

Un traitement médical doit toujours être associé à la chirurgie.

L'antibiothérapie doit agir contre les bactéries anaérobies gram négatif : les tétracyclines, les bêtalactamines, les quinolones de 3^{ème} génération et le métronidazole sont efficaces. La diffusion de l'antibiotique jusqu'au site d'infection est souvent faible en raison de la nature nécrotique (et donc non vascularisée) de la lésion. C'est pourquoi l'antibiothérapie doit être longue et l'ajout d'antibiotiques *in situ* est intéressant. Elle doit durer trois semaines minimum. Suite à cela, on peut anesthésier l'animal pour observer l'évolution des lésions et décider ensuite du maintien ou non de l'antibiothérapie.

Une autre difficulté est le fait que les bactéries mises en jeu présentent souvent de multiples résistances. La réalisation d'un antibiogramme apparaît donc crucial afin d'utiliser les molécules adéquates et d'éviter l'apparition de résistances. Le métronidazole semblant déterminant dans l'efficacité du traitement. Il est conseillé d'associer le métronidazole (60-70 mg/kg, PO, une fois par jour) à une autre molécule antibiotique. Il peut s'agir de l'oxytétracycline (10 à 40 mg/kg, IM, tous les 2 jours). Le métronidazole ne provoque pas d'effets secondaires, par contre, l'oxytétracycline peut entraîner une diarrhée après un long traitement. Dans ce cas, les sulfamides peuvent la remplacer. L'enrofloxacin donne de bons résultats contre la nécrobacillose. Le traitement est mis en place par voie intramusculaire (2,5 mg/kg toutes les 12 heures ou 5 mg/kg une fois par jour pendant 2 jours) puis le relais est pris par voie orale. Le ceftiofur (1 mg/kg IM, une fois par jour) peut également être utilisé. Quand la contention quotidienne de l'animal est impossible, le tout peut être fait sous anesthésie.

Certains antibiotiques sont difficiles à faire prendre par voie orale du fait de leur goût, comme l'enrofloxacin ou le métronidazole. L'enrofloxacin, du fait de son large spectre, peut également entraîner un déséquilibre de la flore intestinale et des diarrhées. Le métronidazole n'existant qu'en forme orale et ayant un spectre étroit, devra être donné PO mais pour les antibiotiques à large spectre, on privilégiera les formes injectables. De plus, comme pour les ruminants, on ne sait pas comment la flore stomacale des kangourous agit sur ces antibiotiques. L'ajout de compléments de flore peut être judicieux.

L'ajout d'anti-inflammatoires non stéroïdiens et d'analgésiques (flunixin, 1 mg/kg, SC ou IM, 2 fois par jour ; kétoprofène, 1-2 mg/kg, IM ; carprofène, 4 mg/kg, SC, une fois par jour ; butorphanol, 0,1-0,5 mg/kg, SC, IM, PO, 3-4 fois par jour ; meloxicam 1 mg/kg, SC, 2 fois par jour) pendant les premiers jours du traitement permet de diminuer la douleur et de favoriser la reprise de la mastication [10, 35, 38, 58, 71].

Lors d'anorexie prolongée, il est nécessaire d'administrer un réhydratant (NaCl isotonique 0,9%, SC) et de mettre en place une alimentation assistée (aliments énergétiques

supplémentés avec du lactobacillus). Le cisapride (0,25 mg/kg, IM, PO, 1 à 3 fois par jour) contribue à la reprise de la motricité du tube digestif.

L'ajout de vitamine A par voie générale est conseillé ^[53].

Récemment, un vernis avec de la chlorhexidine comme principe actif a montré des résultats prometteurs sur un *N. rufogriseus* et un *M. giganteus*. Sa réalisation et son utilisation sont simples. Le vernis est composé de 1,5 g de diacétate de chlorhexidine, 3 g d'éthylcellulose, 0,3 g de polyéthylène glycol 400 et 50 mL d'éthanol. Il a été appliqué à raison de 3 couches de 1 à 2 mm d'épaisseur sur les gencives et les dents affectées. L'application a été renouvelée sous anesthésie tous les 10 à 12 jours et les animaux pouvaient être relâchés directement dans leur groupe une fois le vernis sec, sans besoin d'hospitalisation. Le traitement systémique choisi pour ces animaux était de l'azithromycine 15 mg/kg PO une fois par jour. Cette procédure a significativement réduit le temps de traitement et limité le risque de récurrence ^[3].

Des procédures associant l'endodontie à de l'apectomie ont également permis le rétablissement d'un *N. parva*. Une incisive infectée en profondeur a été retirée. Les tissus mous ont subi un traitement au laser afin d'activer la régénération des cellules, et l'espace libéré par le retrait de la dent a été comblé avec un matériau d'obturation spécial ^[32].

H. Prévention

Au vu de la virulence de la nécrobacillose, le meilleur moyen de garantir la survie des individus est d'éviter l'apparition de la maladie.

H.1 Vaccin

A l'heure actuelle, aucun vaccin spécifique de la nécrobacillose n'est disponible sur le marché.

Des essais avec le vaccin contre le piétain ovin Footvax ND ont présenté des résultats encourageants chez *N. eugenii* avec une baisse de la morbidité et de la mortalité et un taux d'anticorps augmenté significativement.

Néanmoins, le même vaccin n'a pas semblé efficace sur les populations de wallabys de Bennett étudiées. Non seulement certains individus ont déclaré la maladie dans les trois mois suivant la vaccination, mais l'injection en elle-même a été source d'effets secondaires avec des abcès au site d'injection ^[58].

H.2 Mesures d'hygiène

Une des mesures les plus évidentes d'empêcher l'apparition de la maladie est le contrôle des facteurs favorisants (cf Partie 1.II.C.3).

Il faut limiter la contamination de l'environnement par les fèces, d'où la nécessité de nettoyer l'enclos régulièrement et d'éviter d'avoir une densité d'individus trop élevée.

Pour prévenir et limiter les micro-lésions cutanées et orales, la ration alimentaire doit être adaptée, c'est-à-dire non abrasive, avec des fibres de bonne qualité. Il faut donc éviter le foin trop sec et la paille. Les aliments doivent néanmoins user les dents de façon constante et homogène, et ne pas pouvoir stagner dans la cavité buccale.

Lorsqu'un cas est déclaré dans une population, l'animal affecté doit immédiatement être isolé. Le reste du groupe doit être surveillé de près pour détecter les signes cliniques le plus précocement possible, et idéalement placé dans un enclos tampon. L'enclos initial devrait subir un nettoyage et une désinfection complète avant de réintroduire les animaux sains.

H.3 Gestion du stress

Le stress est un des premiers facteurs de baisse de l'immunité et donc de vulnérabilité aux infections. L'environnement des animaux doit être optimal afin de diminuer les sources de stress.

- Densité

Plus la densité est élevée, plus il y a de risques de conflits entre les individus d'un même groupe. Les mâles non castrés peuvent engager des combats afin d'établir une hiérarchie et gagner l'accès aux femelles. Un enclos de taille importante réduit le taux de rencontres entre individus et permet les fuites, ce qui diminue les tensions et donc le stress des animaux.

- Température

Les kangourous roux sont capables de supporter les chaleurs extrêmes de l'Australie continentale, au-delà de 40°C. Ils sont néanmoins sensibles aux basses températures.

Les wallabys de Bennett sont bien plus résistants aux températures extérieures basses, allant jusqu'à 2°C.

Dans tous les cas, il est recommandé de laisser à disposition un abri maintenu à une température de 16°C. Ainsi, le bâtiment doit pouvoir être chauffé en cas de besoin et ne pas être à une température ambiante trop élevée lors des grosses chaleurs.

L'idéal est de laisser le bâtiment accessible en permanence pour que les animaux puissent y trouver tranquillité, abri, chaleur ou fraîcheur ^[16, 18].

- Public

Certains parcs rendent les enclos des macropodes accessibles au public. La présence ponctuelle des visiteurs, et parfois de véhicules les transportant, peut engendrer un stress chez ces animaux qui voient leur environnement perturbé. L'idéal est d'empêcher que les animaux puissent percevoir la présence du public (vitres sans tain, véhicules silencieux, zones accessibles éloignées des zones de repos des animaux, ...).

Partie 2 : Etude expérimentale et questionnaire

Nous allons dans un premier temps dresser un bilan des cas de nécrobacillose apparus dans un parc zoologique donné sur les dix dernières années chez les populations de kangourous roux et de wallabys de Bennett qui s'y trouvent. La structure étudiée sera ici le CERZA, puisque que le sujet de cette thèse a été proposée par le Dr vétérinaire Dorothee Ordonneau qui y est employée. Puis nous présenterons le questionnaire envoyé aux parcs zoologiques européens sur leurs conditions d'hébergement de macropodes et leur état épidémiologique face à la nécrobacillose, ainsi que les réponses obtenues.

Ces deux parties permettent de visualiser l'ampleur de cette pathologie à différentes échelles de population.

I] Etude de cas : le CERZA

A. Matériel et méthodes

A.1 Présentation du CERZA

Le Centre d'Etude et de Recherche Zoologique Augeron est un parc zoologique situé près de Lisieux dans le Calvados, Normandie. Il héberge près de 1200 animaux appartenant à plus de 200 espèces différentes. Ce zoo participe à divers réseaux associatifs : EAZA (European Association of Zoos and Aquariums), la WAZA (World Association of Zoos and Aquariums) et l'AFdPZ (Association Française des Parcs Zoologiques (AFdPZ)).

Au-delà de la mission d'éducation du public, la protection des espèces menacées et des écosystèmes est une préoccupation principale pour le CERZA qui a fondé l'association Cerza Conservation en 2000 afin de financer de nombreux projets de protection des animaux en voie de disparition à travers le monde.

Le Dr Ordonneau est vétérinaire en charge du CERZA ainsi que directrice zoologique. Ses missions consistent non seulement à veiller à la bonne santé des animaux du centre, mais également à gérer la collection vivante du parc (gestion de la reproduction, organisation des transferts, zootechnie).

A ce titre, la gestion de la nécrobacillose est une problématique majeure. L'étude des cas traités au CERZA présentée ici dresse un tableau de la difficulté à contrôler la maladie.

A.2 Conditions d'hébergement au CERZA

- Kangourous roux

Les kangourous sont hébergés au CERZA depuis 2009 au sein d'un groupe de mâles dans un enclos de 2000 m² traversé par les visiteurs. Le substrat est constitué d'herbe, et un bassin peu profond longe un pan de l'enclos. Les visiteurs n'ont accès qu'à un chemin au milieu de l'enclos, chemin que les kangourous peuvent aussi emprunter (figure 14). Divers arbres apportant des branches et de l'ombre sont présents (frêne, sureau et saule pleureur) (figure 15).



Figure 14 : Chemin des visiteurs dans l'enclos des Kangourous roux du CERZA (photo personnelle)



Figure 15 : Enclos des Kangourous roux du CERZA (photo personnelle)

Les kangourous ont accès à un bâtiment de 25 m² via deux portes ouvertes en permanence. Les visiteurs peuvent voir les animaux quand ils sont en intérieur (figure 16). Le bâtiment dispose d'un petit box d'isolement non visible du public. Le bâtiment est chauffé par un radiant électrique permettant d'avoir une température en hiver d'environ 10°C. Le sol est en caoutchouc coulé recouvert de copeaux de lin. Les mangeoires en plastiques sont disposées en hauteur à l'intérieur et à l'extérieur. Les animaux ont un accès permanent à l'intérieur et l'extérieur de leur enclos



Figure 16 : box dans les logements intérieurs des Kangourous roux du CERZA (photo personnelle)

- Wallabies de Bennet

Les wallabies de Bennet sont présentés au CERZA dans la partie hébergement, dans un vaste enclos de 4 hectares où sont implantés des maisons sur pilotis. Pendant longtemps, mâles et femelles étaient mélangés et le sex ratio était équilibré. Afin de réduire la reproduction de ce groupe et de réduire la prévalence de la nécrobacillose, tous les mâles ont été castrés en 2020 et 2021.

Le substrat principal est donc constitué d'herbe, et de nombreux arbres et bambous sont implantés autour des hébergements. Il existe une partie aussi plus forestière. Les wallabies peuvent s'abriter sous les lodges mais disposent aussi d'un bâtiment de 40 m². Ils y ont un accès libre toute l'année et le bâtiment n'est pas chauffé.

La ration, en plus de l'herbe et des bambous et autres feuillages qu'ils consomment, est constituée de foin et de granulés pour herbivores.

A.3 Cohorte d'étude

L'ensemble des cas étudiés ici concernent les animaux hébergés au CERZA entre janvier 2013 et mars 2023. Cette période offre un nombre satisfaisant de données, avec suffisamment de précisions sur les dossiers médicaux concernés.

Chaque individu possède un identifiant qui lui est propre, auquel est rattaché son dossier avec l'ensemble des évènements importants de sa vie (naissance, lieu d'origine, id des parents, transfert à un autre centre, décès, ...) ainsi que son historique médical (figure 17).

QRD11-00700 Local ID: M12025									
Individual		Red kangaroo			Least Concern (LC)			Macropus rufus	
Date in	Acquisition - Vendor/Local ID	Phy	Own	Reported By	Disposition - Recipient/Local ID	Phy	Own	Date out	
~ from Nov 01, 2010 to Nov 30, 2010	Birth/Hatch	In	h	BEAUVAL / M0949	Donation To LISIEUX Z/M12025	Out	Out	Feb 22, 2012	
Feb 22, 2012	Donation From BEAUVAL/M0949	In	h	LISIEUX Z / M12025	Donation To LA PALMYR/UNDETERM+	Out	Out	Apr 01, 2016	
<u>Sex/Contraception</u>	Male / -			<u>Birth Type</u>	Captive Birth/Hatch				
<u>Hybrid Status</u>	Not a hybrid			<u>Birth Location</u>	Zoo Parc de Beauval				
<u>Enclosure</u>	-			<u>Birth Date/Age</u>	~ from Oct 31, 2010 to Nov 30, 2010 / 5Y,4M,17D at the time of lost ISIS tracking				
<u>Rearing</u>	Parent			<u>House Name</u>	[Yampi/BEAUVAL]				
<u>Dam</u>	[GAN: 27287484 BEAUVAL / M0211]			<u>Local ID</u>	[M0949/BEAUVAL] [M12025/LISIEUX Z]				
<u>Sire</u>	[M01052 / BEAUVAL]			<u>Regional Studbook #</u>	[1976-EAZA /BEAUVAL]				
				<u>Transponder</u>	[250228500011036/[Interscapular-/]/BEAUVAL] [250228500011036/LISIEUX Z]				

Figure 17 : Exemple de carte d'identité d'un animal enregistré sur ZIMS [72]

- **Kangourou roux**

Au total, 26 kangourous roux ont été hébergés au CERZA entre janvier 2013 et mars 2023. Sur cet échantillon, deux ont été plus tard transférés dans d'autres parcs. Parmi les 24 restants, 16 sont décédés et 8 sont encore en vie. Huit des seize kangourous morts présentaient des signes compatibles avec une nécrobacillose. Les autres causes de mort sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Liste des différentes causes de mortalité des kangourous roux du CERZA entre janvier 2013 et mars 2023

Cause de la mort	Nombre d'occurrences	Pourcentage
Nécrobacillose	8	50%
Affection respiratoire	2	12,5%
Cause indéterminée	1	6,25%
Traumatisme	1	6,25%
Troubles locomoteurs	1	6,25%
Myopathie	1	6,25%
Cécité	1	6,25%
Entérite	1	6,25%

- Wallaby de Bennett

Sur la même période, 105 wallabys de Bennett ont élu domicile au CERZA. Parmi ceux-ci, huit ont été transférés, cinquante-trois sont décédés et quarante-quatre sont encore en vie. Parmi les 53 décès, 20 ont été imputés à une nécrobacillose. Les autres causes de mort sont résumées dans le tableau 5.

Tableau 5 : Liste des différentes causes de mortalité des wallabys de Bennett au CERZA entre janvier 2013 et mars 2023

Cause de la mort	Nombre d'occurrences	Pourcentage
Nécrobacillose	20	37,8%
Cause indéterminée	16	30,2%
Traumatisme	6	11%
Affection respiratoire	5	9,5%
Affection cardiaque	3	5,5%
Myases	1	2%
Septicémie	1	2%
Entérite hémorragique	1	2%

Pour la plupart des décès, la mort a été provoquée par euthanasie après évaluation de l'état de l'animal et des perspectives d'amélioration. Les « causes de mort » correspondent au diagnostic établi suite à l'évolution des signes cliniques et aux résultats des examens d'autopsie effectués lorsque cela était possible.

B. Résultats

B.1 Prévalence

- Kangourou roux

Huit des vingt-six kangourous roux de la cohorte ont présenté des signes de nécrobacillose. Cela équivaut à une prévalence de 31%. L'ensemble des cas concernaient des lumpy-jaw avec affection buccale uniquement.

Les individus sont décédés à un âge allant de 5 ans à 11 ans, avec une moyenne de 7 ans et 4 mois.

Tous les individus atteints étaient des mâles car aucune femelle n'a été hébergée au CERZA dans les dix dernières années.

- Wallaby de Bennett

Vingt wallabies ont eu un diagnostic de nécrobacillose, soit 19% de tous ceux ayant été hébergés au CERZA. Il est important de noter la forte part des morts d'origine inconnue, qui représentent 15% des animaux de la cohorte. Dans la plupart des cas, ces individus ont été retrouvés morts dans un état de décomposition avancée ne permettant pas une autopsie concluante. Il n'est pas impossible que plusieurs de ces individus aient été atteints de nécrobacillose et aient fini par s'isoler et mourir loin du groupe, ce qui traduirait une prévalence réelle plus élevée.

Chez les cas de lumpy-jaw avérée, deux concernaient des infections des membres postérieurs. Un cas de nécrobacillose était associé à une septicémie et des myases traitées deux jours plus tôt.

Les individus sont décédés à un âge allant de 1 an et 6 mois à 17 ans et 6 mois, avec une moyenne de 8 ans.

Parmi les individus atteints, 60% étaient des mâles, 35% des femelles, et 5% sont morts avec un sexe indéterminé.

B.2 Traitement

Lorsqu'un cas de nécrobacillose est soupçonné par des signes cliniques (cf partie 1. II. D), la procédure du CERZA consiste à anesthésier l'animal afin de procéder à un examen

clinique approfondi (notamment de la cavité buccale). Si le doute est confirmé, selon la gravité et l'étendue des lésions, un simple traitement médical peut être mis en place.

- Traitement médical

Sur chaque cas de nécrobacillose détecté, le traitement médical comprend :

- Antibiotiques : Longamox[®] (amoxicilline) en IM à 15 mg/kg toutes les 48 heures pendant 8 à 10 jours ; Métronidazole en IM à 65 mg/kg puis en poudre dans la ration pendant 8 à 21 jours.
- AINS : injection IM d'Emdocam[®] (meloxicam) à raison de 1 mg/kg une fois par jour pendant 2 à 4 jours ;
- Traitement de soutien : injection IM de Cofavit 500[®] (vitamine A, vitamine D3 et vitamine E) à raison de 1 mL pour 10 kg en administration unique.

- Traitement chirurgical

Un examen buccal est systématiquement réalisé lors d'apparition de signes cliniques, l'implantation des dents est testée et toutes celles qui bougent sont retirées chirurgicalement. Un débridement des tissus mous nécrosés est également réalisé. Un mélange d'Ophtalon[®] (chloramphénicol) et de métronidazole est ensuite appliqué dans le trou laissée par la dent.

Si un abcès est présent, il est vidangé à l'aide d'une incision en croix au scalpel puis nettoyé à l'aide de Vétédine Solution[®] diluée et d'eau oxygénée. L'abcès est ensuite laissé ouvert pour permettre le drainage.

B.3 Cultures bactériologiques

Au total, seules quatre cultures bactériologiques sont enregistrées sur ZIMS pour les cas de nécrobacillose du CERZA. Ceci s'explique par le fait que les cultures issues de pus échouent souvent, que le résultat n'influence que rarement le choix du traitement (l'intérêt est souvent plutôt diagnostique), et que les animaux meurent souvent avant que la culture soit envoyée pour être analysée. Il arrive aussi que certains résultats soient mentionnés sans avoir été correctement enregistrés sur l'application.

Les cultures réalisées ont montré la présence de différentes bactéries comme montré dans le tableau 6.

Tableau 6 : Liste des différentes bactéries identifiées chez les animaux atteints de nécrobacillose au CERZA

Bactérie	Prélèvement	Gram positif ou négatif	Métabolisme
<i>Fusobacterium necrophorum</i>	Abcès gingival	Négatif	Anaérobie stricte
<i>Bacteroides pyogenes</i>	Abcès gingival	Négatif	Anaérobie stricte
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Abcès buccal	Négatif	Anaérobie facultatif
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Abcès pulmonaire	Négatif	Aérobie stricte
<i>Staphylococcus</i>	Abcès pulmonaire	Positif	Anaérobie facultatif
<i>Streptococcaceae</i>	fèces	Positif	Anaérobie facultatif

B.4 Mortalité

Tous les animaux ayant mention d'une lumpy-jaw dans leur historique médical sont décédés après avoir présenté des signes compatibles avec une nécrobacillose. Le délai entre la date de détection des premiers signes cliniques et la mort de l'animal varie entre un jour et quatre années.

Ceci s'explique par le fait que certains animaux ne montrent de signes cliniques que lorsque la maladie a déjà atteint un stade trop avancé pour espérer une amélioration et sont euthanasiés presque immédiatement, tandis que d'autres cas sont décelés suffisamment tôt pour qu'un traitement soit justifié.

100% des cas de nécrobacillose traités ont fini par récidiver, mais la précocité du traitement permet de juguler la progression de la maladie et de prolonger la vie de l'animal.

B.5 Suivi détaillé d'un cas : M19139

M19139 était un kangourou roux mâle né le 18 janvier 2015 au parc zoologique de Barcelone. Il a été transféré au CERZA le 7 septembre 2019 à l'âge de 4 ans et 8 mois, de même que deux autres kangourous provenant du même parc. Un œil fermé avec écoulement avait été rapporté sur l'un des trois individus, mais n'a pas été observé à la réception des animaux.

Le 21 juin 2020, un gonflement de la tête a été notée lors d'un examen à distance. Il a alors été capturé le lendemain pour examen approfondi. Aucune anomalie n'ayant été relevée, une injection IM de dexaméthasone (Dexafort[®]) à 0,2 mg/kg a été réalisée, puis il a été relâché.

Le 13 juillet 2020, un examen microbiologique des fèces de l'ensemble des sept individus de l'enclos a été réalisé. Aucune flore pathogène n'a été détectée.

Le 10 mars 2021, M19139 a été capturé et anesthésié en raison de l'observation d'un gonflement de la joue droite. L'examen de la cavité buccale a permis de confirmer la présence d'un abcès en regard de la mandibule droite. Celui-ci a été nettoyé et cureté, puis une pommade constituée d'un mélange d'Ophtalon[®] et de métronidazole en poudre a été appliquée. Les dents étaient bien en place et aucune ne bougeait. Il a reçu des injections IM de Cofavit 500[®] (3 mL) de Longamox[®] (amoxicilline, 15 mg/kg), d'Emdocam[®] (meloxicam, 0,2 mg/kg) et d'Ivomec[®] (ivermectine, 0,2 mg/kg). Puis, un traitement antibiotique à base de métronidazole (65 mg/kg toutes les 24 heures) et d'amoxicilline (15 mg/kg toutes les 48 heures) a été mis en place pour une durée visée de 10 jours. Des prélèvements de tissu nécrotique pour une culture bactériologique ont également été réalisés.

Les résultats de l'antibiogramme ont motivé un changement d'antibiotique le 17 mars 2021, des *Klebsiella pneumoniae* ayant été mis en évidence dans l'abcès. Le relai a été pris avec des injections IM de Clavobay[®] (amoxicilline, acide clavulanique, 10 mg/kg) toutes les 24 heures pendant 8 jours.

Le 25 mars 2021, l'animal a été anesthésié pour évaluer l'évolution de l'abcès dentaire. L'examen a montré une bonne cicatrisation de l'abcès, et la décision a été prise d'arrêter le traitement antibiotique.

Le 15 février 2022, des écoulements salivaires et un gonflement des babines ont été observés, ainsi qu'un amaigrissement et une amyotrophie. M19139 a alors été anesthésié le lendemain. L'incisive mandibulaire droite était très mobile, avec la présence de pus en grande quantité et d'une déformation osseuse de la mandibule droite à la palpation. Après examen du reste de la cavité buccale, la décision a été prise d'extraire l'incisive mandibulaire droite ainsi qu'une molaire mandibulaire gauche après instillation de 1,5 mL de lidocaïne dans la gencive. Les autres dents semblaient correctes.

Un contrôle le 10 mars 2022 a montré une cicatrisation totale de la gencive mandibulaire au niveau de l'incisive mandibulaire droite et de la molaire gauche extraites. La gencive était totalement comblée et saine.

La lumpy-jaw a récidivé le 7 novembre 2022 avec un gonflement des babines et de la joue droite marqué et un ptyalisme associé. L'examen sous anesthésie générale a montré une nécrose sévère et une inflammation marquée de la commissure des lèvres et de la face dentaire de la joue à droite, avec une quantité importante de pus. La M1 de la mandibule droite semblait bouger un peu. La plaie a été débridée mais non suturée car l'inflammation était trop importante (figure 18). Le même protocole que le 10 mars 2021 a été mis en place. Des prélèvements pour une culture bactériologique ont également été réalisés.



Figure 18 : Plaie de nécrobacillose sur M19139 avant et après débridement (photo personnelle)

Sur les trois jours qui ont suivi, le gonflement de la joue a diminué et l'animal consommait l'ensemble de sa ration. Lors d'un contrôle sous anesthésie le 23 novembre 2022, la plaie de la commissure de la lèvre à droite était très bonne voie de cicatrisation, avec présence d'une lésion de 1 à 2 cm de long en cours d'épidermisation. Il n'y avait pas de pus, et la paroi interne de la joue droite était encore modérément gonflée. A l'examen dentaire, aucune dent ne semblait bouger. Le traitement a été terminé sans complication

Le 11 et le 19 janvier 2023, un gonflement de la joue gauche et un ptyalisme ont commencé à apparaître. Ils étaient marqués le 26 janvier, ce qui a motivé une injection d'amoxicilline (13 mg/kg) et de meloxicam (0,4 mg/kg) en attendant une anesthésie le lendemain. Un cliché radiographique a montré une lyse des racines de la PM1 mandibulaire gauche, sans anomalie visible sur les autres dents. L'examen approfondi a montré la présence de pus en regard des PM mandibulaires gauches, et une inflammation modérée de la joue gauche. La PM1 mandibulaire gauche a été extraite, et le même protocole que le 10 mars 2021 a été mis en place.

Le 8 février 2023, M19139 a été anesthésié pour exploration d'un gonflement des deux yeux, plus marqué à gauche. Aucune anomalie n'a été révélée à l'examen dentaire. Un gonflement marqué des paupières inférieures et supérieures des deux yeux (plus marqué sur la paupière supérieure gauche) a été noté, ainsi qu'une couleur jaunâtre des muqueuses. Un test à la fluorescéine s'est avéré négatif. Du Fradexam[®] (dexaméthasone, framycétine) a été appliqué dans les deux yeux, et un écouvillon oculaire bilatéral a été réalisé pour un examen bactériologique. Il a reçu des injections IM de Cofavit 500[®] (4 mL) et d'Emdocam[®] (0,4 mg/kg). Les résultats de l'écouvillon oculaire ont motivé un traitement à base d'oxytétracycline à 14 mg/kg toutes les 24 heures pendant 15 jours.

Le 12 mars 2023, l'animal a été retrouvé en état léthargique, non ambulant, avec un ptyalisme sévère et un écoulement oculaire muqueux et épais. La décision a donc été prise de l'euthanasier. L'historique médical de M19139 est résumé sur la figure 19.

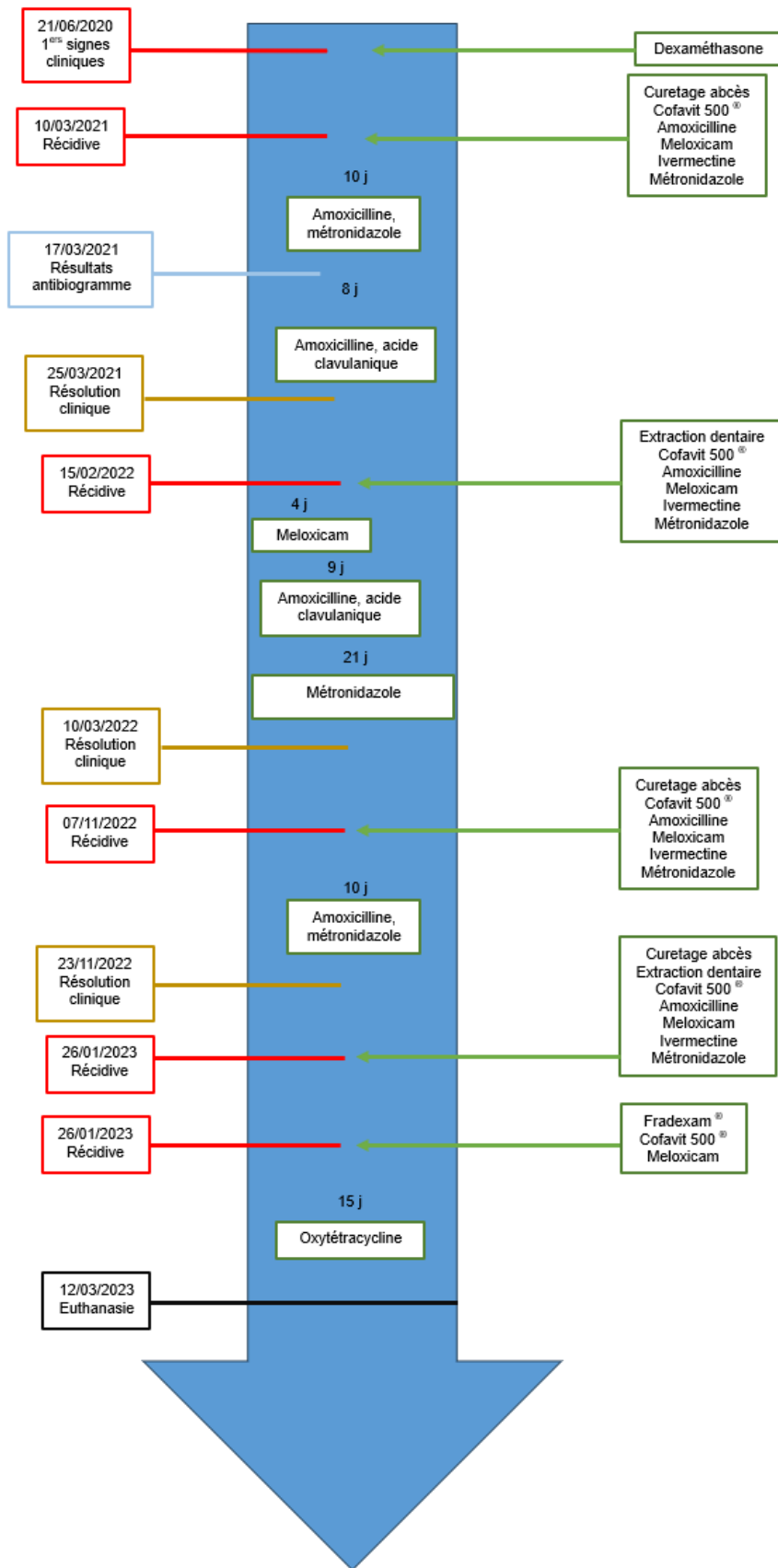


Figure 19 : Historique médical de M19139 de son arrivée au CERZA jusqu'à sa mort

Le terme de « récurrence » employé dans ce cas est à nuancer. Certaines lésions ont fini par montrer une résolution définitive avec les traitements, et les suivantes sont apparues sur d'autres dents à des endroits différents de la cavité buccale. On parle ici de récurrence pour décrire une réapparition de signes cliniques compatibles avec une maladie déjà apparue et traitée sur le même animal, à savoir la nécrobacillose.

A l'autopsie, la note d'état corporel (NEC) était de 1/5 pour un poids de 65 kg. Les poumons étaient hémorragique avec du tissu nécrotique dans le sinus nasal droit. Une entérite proximale était présente avec une paroi duodénale congestionnée et hémorragique. L'estomac était plein et des selles étaient présentes dans le côlon. A la préparation du crâne, une ostéolyse de la mandibule gauche a été observée (figure 20). L'autopsie a conclu à une dégradation de l'état général secondairement à la nécrobacillose récurrente connue chez cet individu.



Ce cas illustre clairement la difficulté de traiter définitivement la nécrobacillose, que ce soit par des traitements médicaux multimodaux ou des opérations de chirurgie. La récurrence de la maladie est quasiment systématique, à plus ou moins long terme, et peut entraîner des complications chez d'autres organes de l'animal (poumons, yeux, ...) par une baisse de l'état général, menant généralement à une mort naturelle ou une décision de fin de vie.

II] Enquête auprès des parcs zoologiques européens

A. Objectif de l'étude

Le but de cette étude est de mieux comprendre l'épidémiologie de la nécrobacillose chez les macropodes en captivité en Europe. Ce sujet a été proposé par le Dr Ordonneau, vétérinaire en charge du CERZA (cf Partie 2.I]. A).

Nous avons vu grâce à la partie 1 que le Kangourou roux et le Wallaby de Bennett sont réparties sur l'ensemble du globe dans plusieurs centaines de structures différentes. Les conditions d'hébergement, d'alimentation, d'entretien et de soins peuvent être drastiquement différentes d'une institution à une autre. Nous avons donc rédigé un questionnaire par espèce à destination des vétérinaires des zoos qui hébergent ces espèces d en Europe.

Ces deux questionnaires ont pu être partagés grâce au TAG (Taxon Advisory group) qui recense les coordonnées de l'ensemble des institutions hébergeant chaque espèce. Ils ont pour but d'estimer les conditions de vie des macropodes en captivité et de les relier éventuellement à la prévalence de nécrobacillose relevée par ces structures. Ceci pourrait permettre de mettre en évidence des facteurs zootechniques prédisposants vis-à-vis de la maladie.

B. Matériels et méthodes

B.1 Questionnaire

Le questionnaire a été rédigé en janvier 2023, grâce au logiciel d'enquêtes et d'analyses de données Sphinx[®] (Annexe B). Il a été diffusé via courrier électronique par le Dr Ordonneau et moi-même à tous les vétérinaires en charge des structures ciblées de février 2023 à mai 2023. Cette durée de diffusion relativement brève a permis d'avoir un taux de réponse proche de 30%. Malgré plusieurs relances, le nombre de réponses n'a pas augmenté. Il est à noter que le questionnaire, bien que se voulant le plus concis possible, se finissait en moyenne en 20 minutes, et que les vétérinaires en charge des structures sondées ont un travail quotidien conséquent. Pour y répondre, ils devaient bien souvent examiner les répertoires médicaux et consulter les archives de l'institution. Nous avons donc supposé avoir atteint le maximum de réponses possibles : 14 réponses ont ainsi été recueillies pour les kangourous roux et 11 réponses pour les wallabys de Bennett.

Le questionnaire est composé de 49 questions et débute en expliquant les objectifs de l'étude. Il est scindé en cinq parties :

- La première partie permet de connaître le nom de l'institut ainsi que le pays dans lequel il se trouve.
- La deuxième partie permet de caractériser la population de *O. rufus* ou de *N. rufogriseus* dans la structure (effectif actuel, nombre d'individus par enclos, taille des enclos, autres espèces présentes, ...).
- La troisième partie permet de décrire les conditions d'hébergement des animaux (abris intérieurs, composition de la litière, température maintenue, ...).
- La quatrième partie s'intéresse à l'alimentation des macropodes (accès à l'herbe naturelle, composition de la ration, supplémentation éventuelle, ...).
- La dernière partie interroge sur l'aspect médical (prévalence de nécrobacillose, méthodes de traitement, mortalité, récurrences, ...)

B.2 Analyse des données

Au vu de la nature des questions souvent « ouvertes » du questionnaire qui ne permettait pas une bonne interprétation avec la fonctionnalité « Dataviv' » de Sphinx[®], l'outil Microsoft Office Excel[®] a été utilisé manuellement puis graphiquement pour interpréter les résultats.

Dans un premier temps, l'analyse faite est essentiellement descriptive, en présentant la distribution des différentes variables introduites par le questionnaire. Ensuite, une analyse statistique bivariée sera établie entre ces variables explicatives potentielles et la variable réponse qui est la prévalence de nécrobacillose dans les populations.

Cette analyse a été réalisée grâce au logiciel RStudio[®], et notamment grâce à la fonction `test.t` permettant de réaliser des tests de Student.

C. Résultats du questionnaire pour les kangourous roux

C.1 Instituts ayant répondu et effectifs actuels

Parmi les cinquante zoos européens hébergeant des kangourous roux contactés, nous avons obtenu quatorze retours, et donc un taux de réponse de 28%. La liste des structures ayant répondu ainsi que leur effectif actuel de kangourous roux est consultable en tableau 7.

Tableau 7 : données sur les structures hébergeant des kangourous roux

Nom de l'institut	Pays	Nombre de <i>O. rufus</i>	Année de début d'activité
Zoo Warszawa	Pologne	10	1993
AquaZoo Leeuwarden	Pays-Bas	2	2015
La Palmyre	France	8	1992
All Things Wild	Royaume-Uni	1	2020
Zoo Leśne Dacisez	Pologne	4	2015
Corsica Zoo	France	4	2019
Banham Zoological Gardens	Royaume-Uni	3	1996
Von Opel Hessoise Zoostiftung	Allemagne	6	2012
Zoo Bratislava	Slovaquie	3	1993
Zoo Dresden	Allemagne	5	1956
Zoo Heidelberg	Allemagne	6	2001
Hannover Zoo	Allemagne	6	1989
Zoological Garden Olomouc	République Tchèque	26	1990
CERZA Lisieux	France	6	2003

C.2 Gestion de l'enclos

C.2.1 Taille de l'enclos et densité

La taille des enclos varie énormément d'un zoo à un autre, allant de 250 m² à 16 000 m², pour une médiane de 1100 m² (figure 21). La densité est traduite par l'espace disponible pour chaque individu dans l'enclos (figure 22).

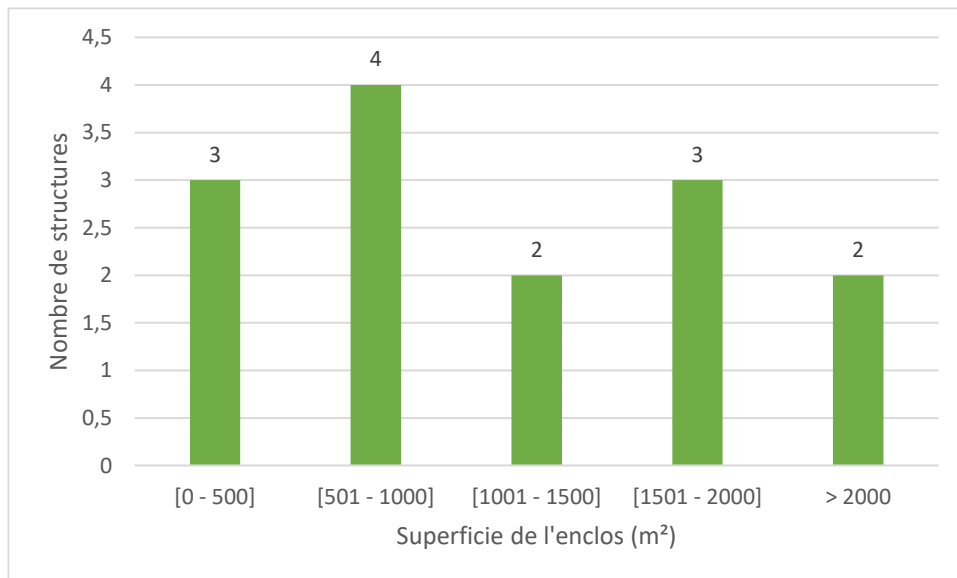
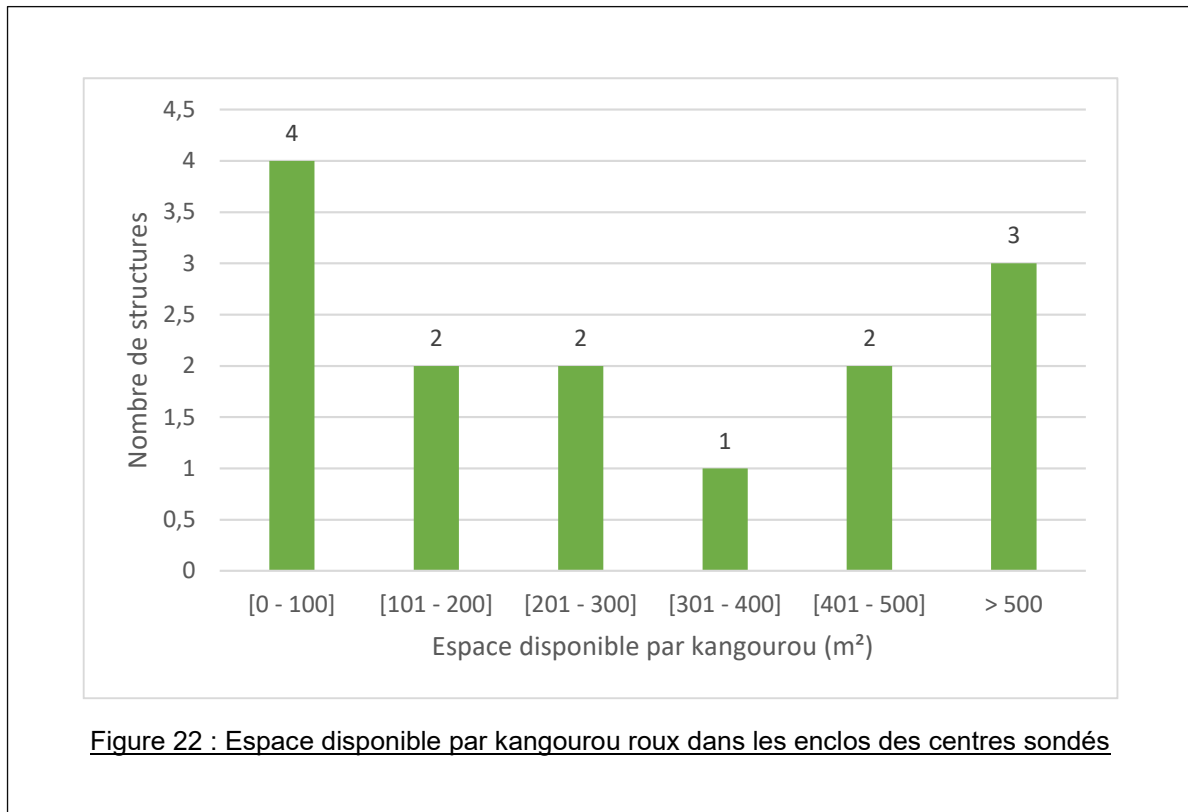


Figure 21 : Taille des enclos pour les kangourous roux des parcs

Selon le zoo, chaque kangourou a entre 25 m² et 16 000 m², avec une médiane de 215 m² par animal. Le centre All Things Wild, situé à Honeybourne en Angleterre possède un enclos de 16 000 m² où un seul kangourou réside actuellement, sans autre espèce partageant l'habitat, d'où une haute valeur qui est bien supérieure au reste des données.

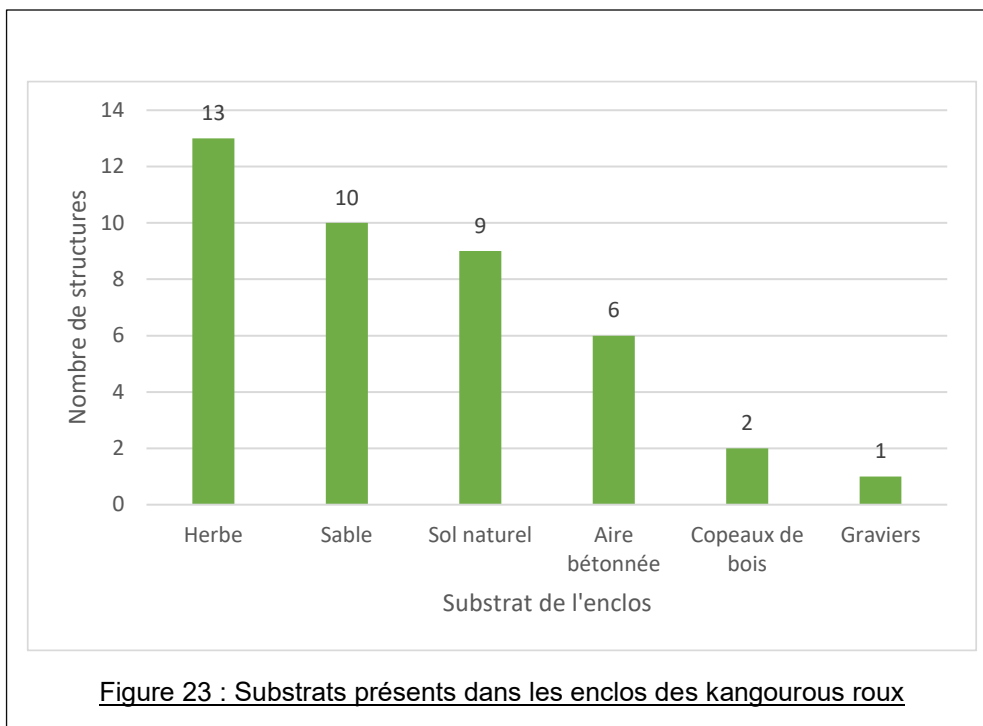


C.2.2 Nature du substrat

Dans la plupart des enclos, l'herbe, le sable et le sol naturel sont privilégiés (figure 23). Ces substrats se rapprochent le plus des conditions de vie des kangourous roux en milieu naturel.

Un des zoos se servant d'une aire bétonnée a précisé qu'elle sert de zone où la nourriture est distribuée.

Dix des quatorze zoos affirment que les selles sont ramassées quotidiennement ; deux zoos nettoient l'enclos plusieurs fois par semaine, un zoo le nettoie une seule fois par semaine et le dernier zoo le nettoie « peu souvent » sans apporter plus de précision.



C.2.3 Contact avec visiteurs et/ou d'autres espèces

Seuls trois zoos permettent aux visiteurs de pénétrer dans l'enceinte de l'enclos (21%), tandis que les autres en empêchent l'accès.

Par ailleurs, dans six zoos, les kangourous roux partagent leur enclos avec d'autres espèces. La liste des espèces en question est détaillée dans le tableau 8.

Tableau 8 : liste des espèces partageant l'enclos des kangourous roux

Nom du parc zoologique	Espèces présentes dans l'enclos des kangourous roux
AquaZoo Leeuwarden	<i>Notamacropus eugenii</i> , <i>Wallabia bicolor</i>
Banham Zoological Gardens	<i>Wallabia spp.</i> , canards
von Opel Hessische Zoostiftung	<i>Dromaius novaehollandiae</i>
Zoo Dresden	<i>Dromaius novaehollandiae</i> , <i>Cereopsis novaehollandiae</i>
Hannover Zoo	<i>Wallabia bicolor</i>
Zoological Garden Olomouc	<i>Dromaius novaehollandiae</i> , <i>Notamacropus parma</i> , <i>Marmota marmota</i> , paons

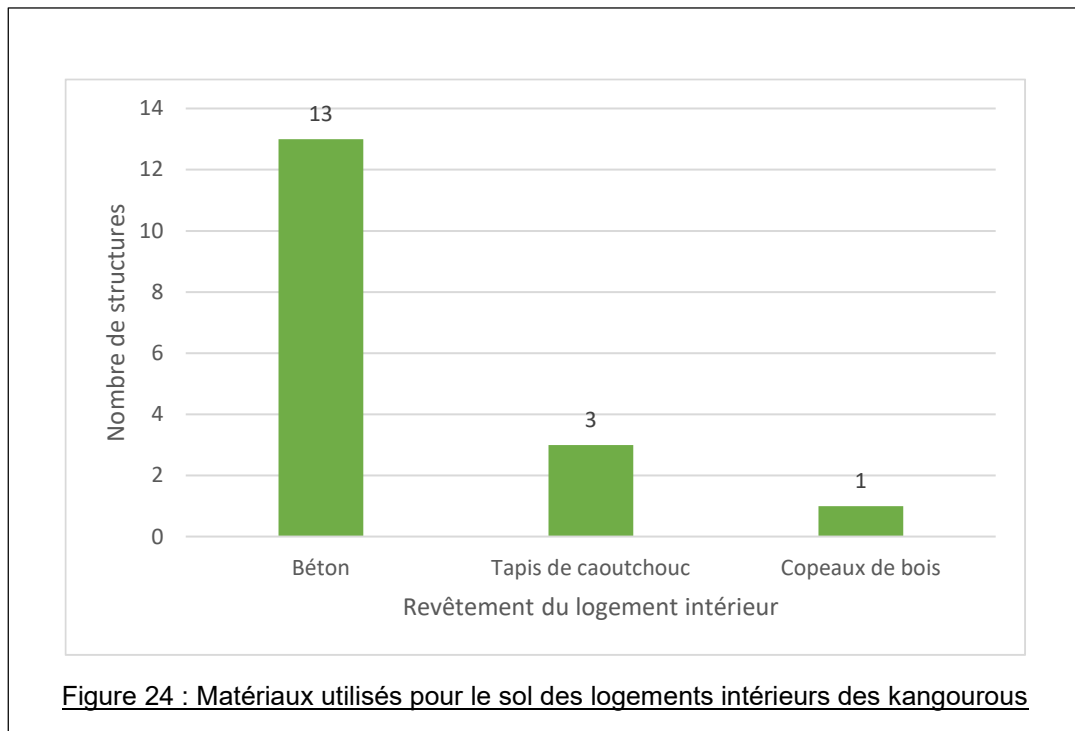
C.3 Logement intérieur

C.3.1 Nombre et taille des box

L'ensemble des zoos interrogés possèdent un logement intérieur pour les kangourous. La taille varie de 6 m² à 1300 m² et il y a entre 1 et 6 box différents pour pouvoir séparer les kangourous en groupe, et parfois isoler les individus malades.

C.3.2 Litière et revêtement

Treize zoos utilisent a minima du béton comme base pour les logements intérieurs, et trois y rajoutent des tapis de caoutchouc, tandis qu'un autre utilise des copeaux de bois (figure 24).



A cela se rajoute la litière qui est majoritairement composée de paille avec sept zoos qui en utilisent. Six zoos y incorporent du foin, un zoo utilise du chanvre et un dernier des copeaux de bois (figure 25).

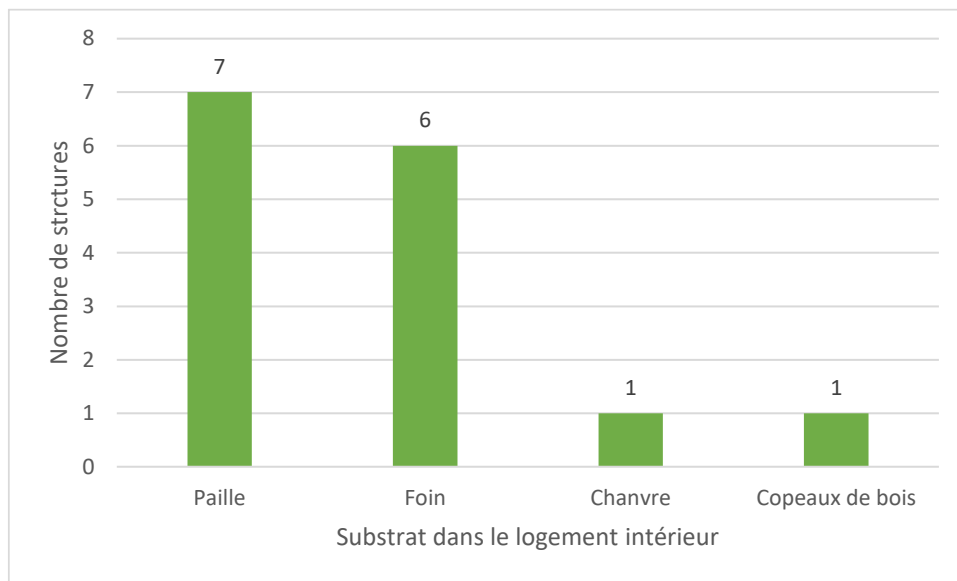


Figure 25 : Matériaux utilisés pour la litière des logements intérieurs des kangourous

C.3.3 Température

La température n'est pas monitorée pour tous les zoos de l'étude, seuls neuf zoos l'évaluent. Les températures choisies varient entre 12°C et 21 °C, pour une moyenne à 17,5°C (figure 26).

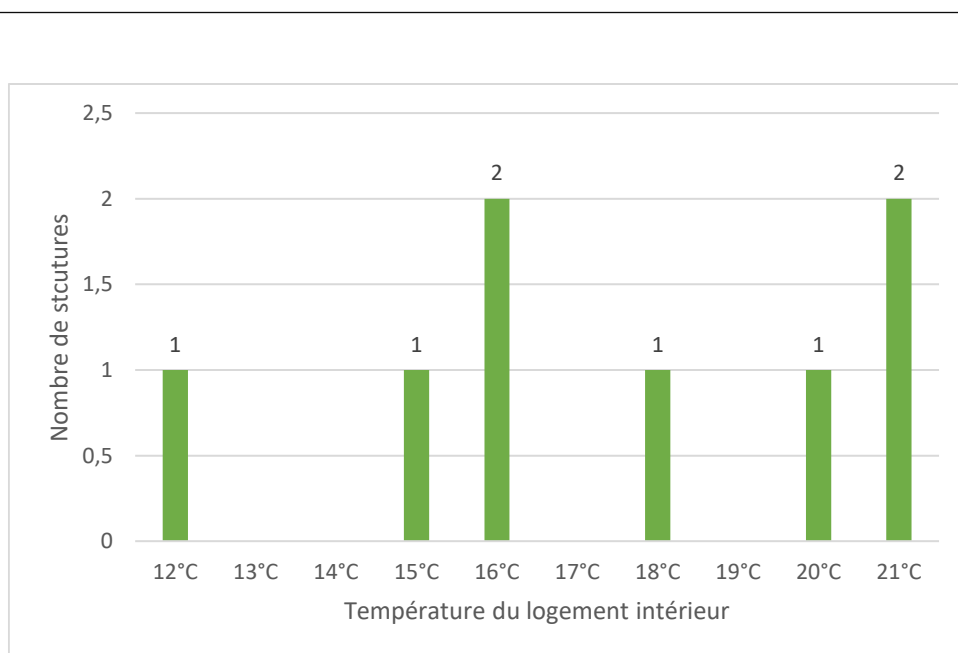


Figure 26 : Températures maintenues dans les logements intérieurs

C.3.4 Accès permanent ou semi-permanent

Seuls deux zoos ne laissent pas un accès permanent au logement intérieur par les kangourous. La principale raison citée est d'améliorer la visibilité pour les spectateurs en journée. En revanche l'accès est permanent de nuit, lors de mauvaises conditions météorologiques ou de température trop basse.

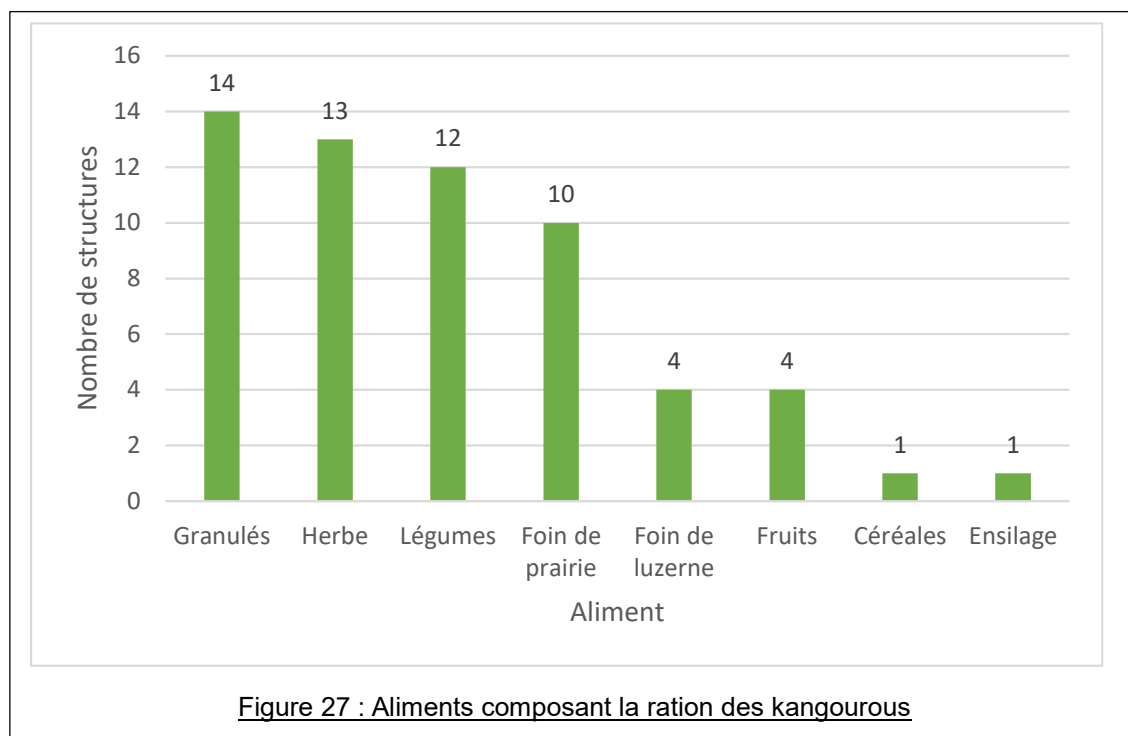
C.4 Alimentation

C.4.1 Accès à de la végétation naturelle

A l'exception d'un zoo, la totalité des kangourous ont accès à de l'herbe naturelle pour pâturer à longueur de journée.

C.4.2 Composition de la ration

A l'exception du zoo où les kangourous n'ont pas d'accès à du pâturage naturel, tous les animaux ont de l'herbe dans leur ration. L'ensemble des zoos utilisent des granulés : 12 zoos nourrissent les animaux avec des légumes ; 10 zoos utilisent du foin de prairie ; 4 zoos utilisent du foin de luzerne ; 4 zoos proposent des fruits dans la ration ; 1 zoo propose des céréales, et 1 zoo propose de l'ensilage (figure 27).



C.4.3 Supplémentation

Sept zoos fournissent une supplémentation alimentaire dans la ration. Parmi eux, trois zoos utilisent uniquement des pierres à lécher, un zoo complète les kangourous en vitamine E trois fois par mois, un zoo complète en calcium et sélénium, et un zoo utilise une pierre à lécher ainsi que de la vitamine C, du zinc, des os de seiche et du CBD.

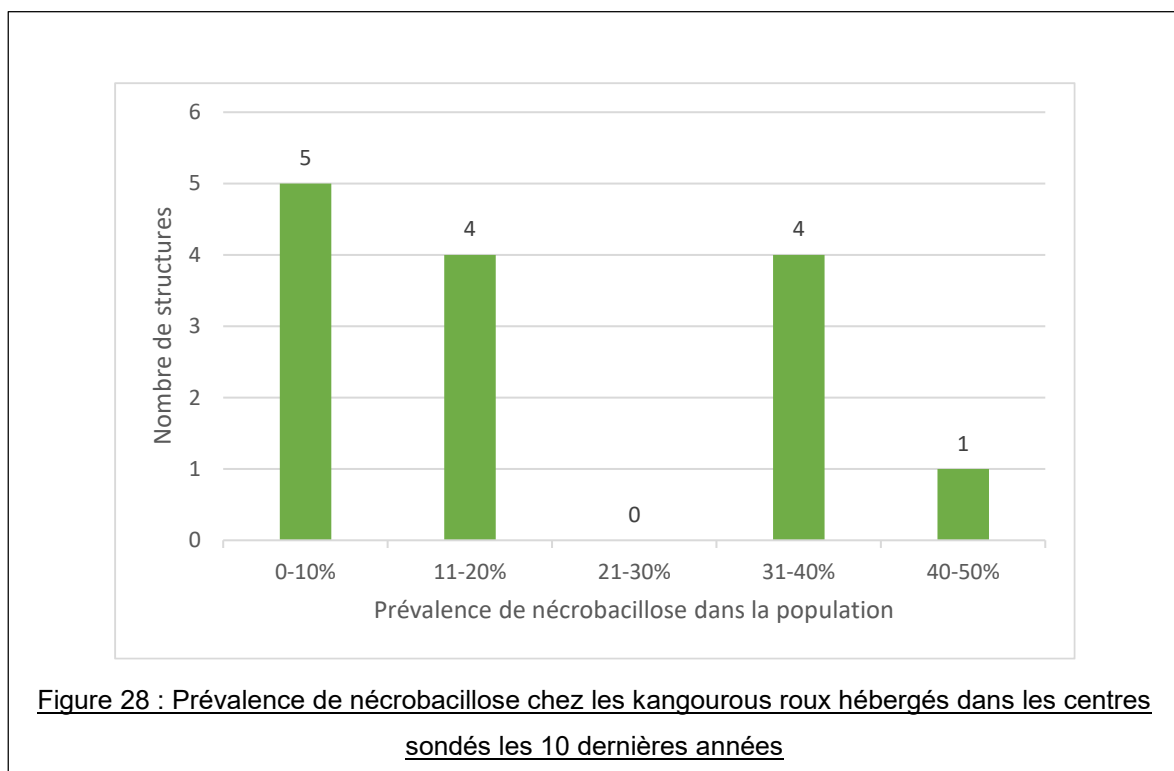
C.4.4 Modes de distribution

Au total, 12 zoos distribuent la nourriture à l'aide de mangeoires. Parmi ceux-ci, quatre la distribuent également au sol. Seuls deux zoos distribuent la ration à même le sol uniquement.

Les mangeoires sont nettoyées quotidiennement chez tous les zoos en utilisant.

C.5 Nécrobacillose

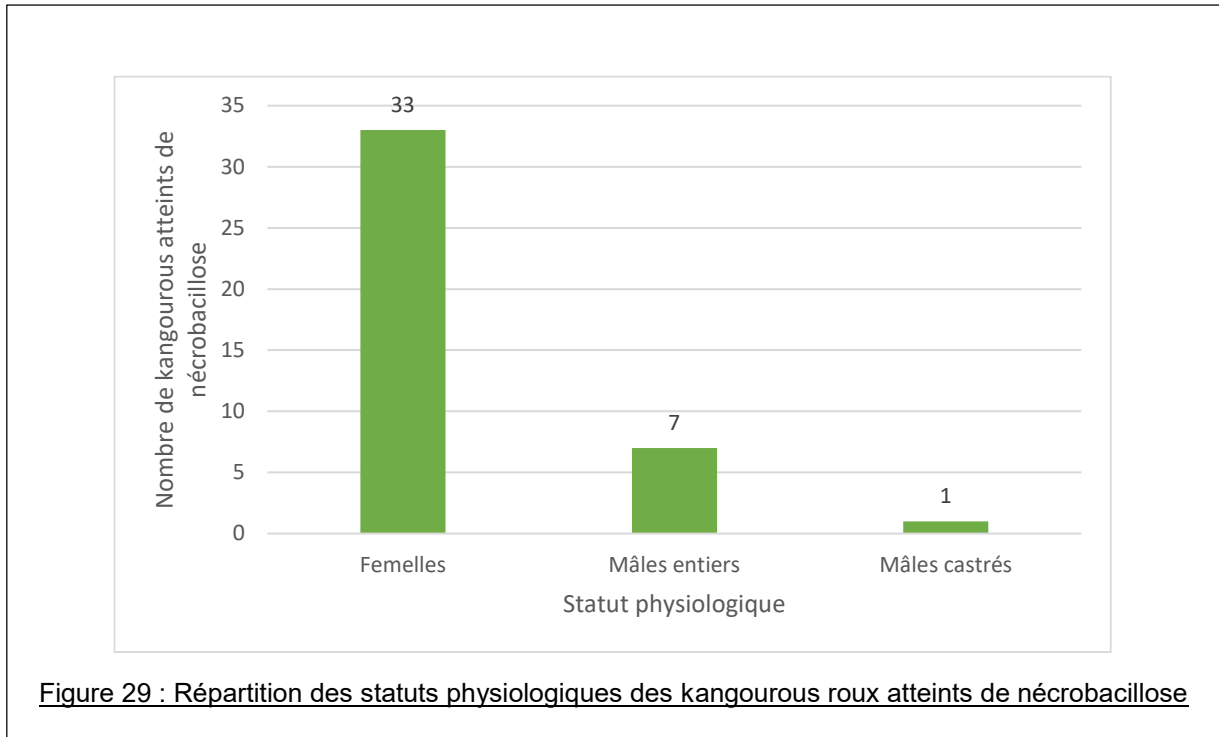
Trois zoos de l'étude ne rapportent pas d'historique de nécrobacillose dans leur population depuis au moins 10 ans. Pour les zoos concernés, la proportion d'individus affectés parmi tous les kangourous roux hébergés au cours des 10 dernières années varie entre 6,5 % et 44 %, avec une prévalence moyenne de 22% (figure 28).



Il est important de préciser que nous n'avons pas donné de critères d'inclusion des signes cliniques pour objectiver la nécrobacillose. Ainsi, chaque institution qui a répondu a utilisé ses propres critères diagnostiques pour déterminer sa proportion d'individus atteints de lumpy-jaw.

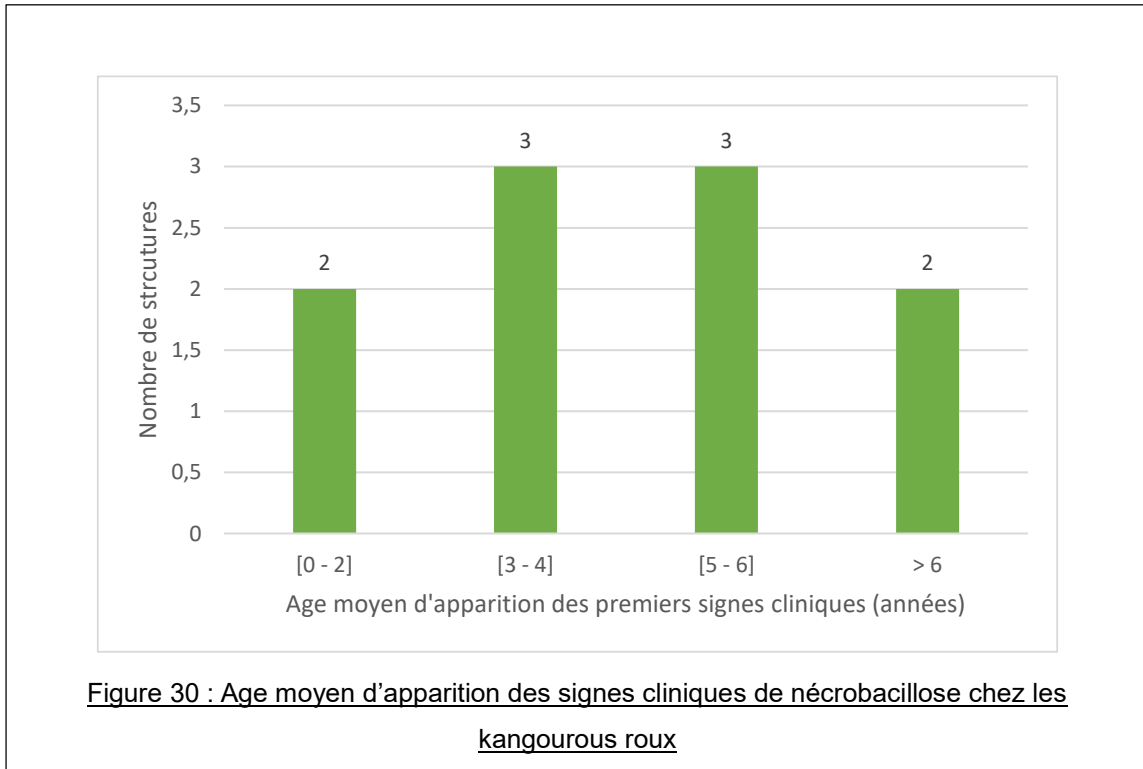
C.5.1 Statut physiologique

Parmi les 41 individus touchés, tous zoos confondus, 33 (80%) étaient des femelles, 7 (17%) étaient des mâles entiers et 1 seul (3%) était un mâle castré (figure 29).



C.5.2 Age moyen

Pour les zoos ayant renseigné l'âge moyen d'apparition des signes cliniques, les variations sont assez importantes. Certains zoos déclarent leur moyenne à 1 an d'âge tandis qu'un zoo cite plutôt 10 ans d'âge (figure 30). La médiane se situe à 5 ans.



C.5.3 Récidive et létalité

A l'exception d'un zoo qui n'observe plus de mortalité chez ses individus atteints de nécrobacillose, l'ensemble des zoos ayant eu des cas de nécrobacillose rapportent une létalité de 100%. Parmi ceux ayant parvenus à traiter les cas avant que l'animal décède, une récurrence est apparue dans 100% des cas.

C.5.4 Examens complémentaires

Cinq des zoos interrogés ne se servent que de clichés radiographiques en examen complémentaire. Trois zoos font appels à des cultures bactériologiques seules et deux zoo utilisent une combinaison des deux procédés. Seul un zoo se sert d'IRM (figure 31).

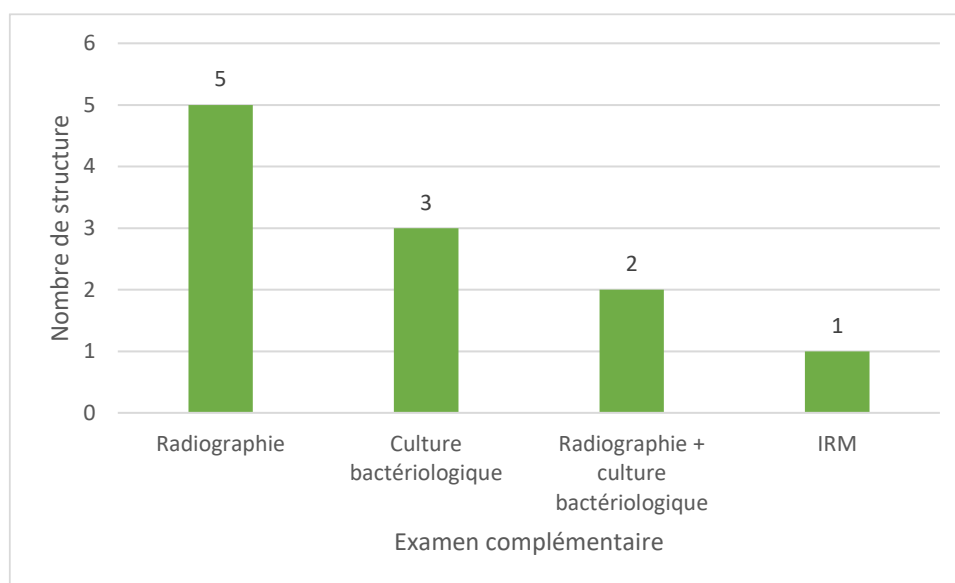


Figure 31 : Examens complémentaires réalisés en cas de nécrobacillose chez les kangourous roux

C.5.5 Résultats bactériologiques

Lors des cultures bactériologiques, il arrive que des zoos différents aient détecté la même bactérie, tandis que d'autres agents pathogènes ne sont décelés que chez une seule population. La bactérie la plus retrouvée est *Fusobacterium necrophorum* qui est apparue sur les résultats bactériologiques de quatre des cinq zoos faisant appel à cet examen (80%), suivie de *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacteroides pyogenes* et *Streptococcus spp.* qui ont chacune une occurrence de 60% (tableau 9).

Tableau 9 : liste des bactéries retrouvées lors de cultures issues de cas de nécrobacillose de kangourous roux

Bactérie	Gram positif ou négatif	Métabolisme	Nombre d'occurrences
<i>Fusobacterium necrophorum</i>	Négatif	Anaérobie stricte	4
<i>Bacteroides pyogenes</i>	Négatif	Anaérobie stricte	3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Négatif	Aérobie stricte	3
<i>Streptococcus spp.</i>	Positif	Anaérobie facultatif	3

<i>Staphylococcus spp.</i>	Positif	Anaérobie facultatif	2
<i>Peptostreptococcus canis</i>	Positif	Anaérobie stricte	2
<i>Porphyromonas gingivalis</i>	Négatif	Anaérobie stricte	1
<i>Prevotella intermedia</i>	Négatif	Anaérobie stricte	1
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Négatif	Anaérobie facultatif	1
<i>Neisseria spp.</i>	Négatif	Aérobie stricte	1
<i>Neobacillus spp.</i>	Positif	Anaérobie facultatif	1
<i>Actinobacillus spp.</i>	Négatif	Anaérobie stricte	1

C.5.6 Traitement

Parmi les 14 zoos, 12 ont systématiquement recours à une combinaison de traitement antibiotique et de chirurgie. Seul un zoo n'effectue pas d'opération chirurgical. Un seul zoo utilise également les billes de polyméthacrylate imprégnées d'antibiotique (AIPMMA) en complément de l'antibiothérapie et de la chirurgie (figure 32).

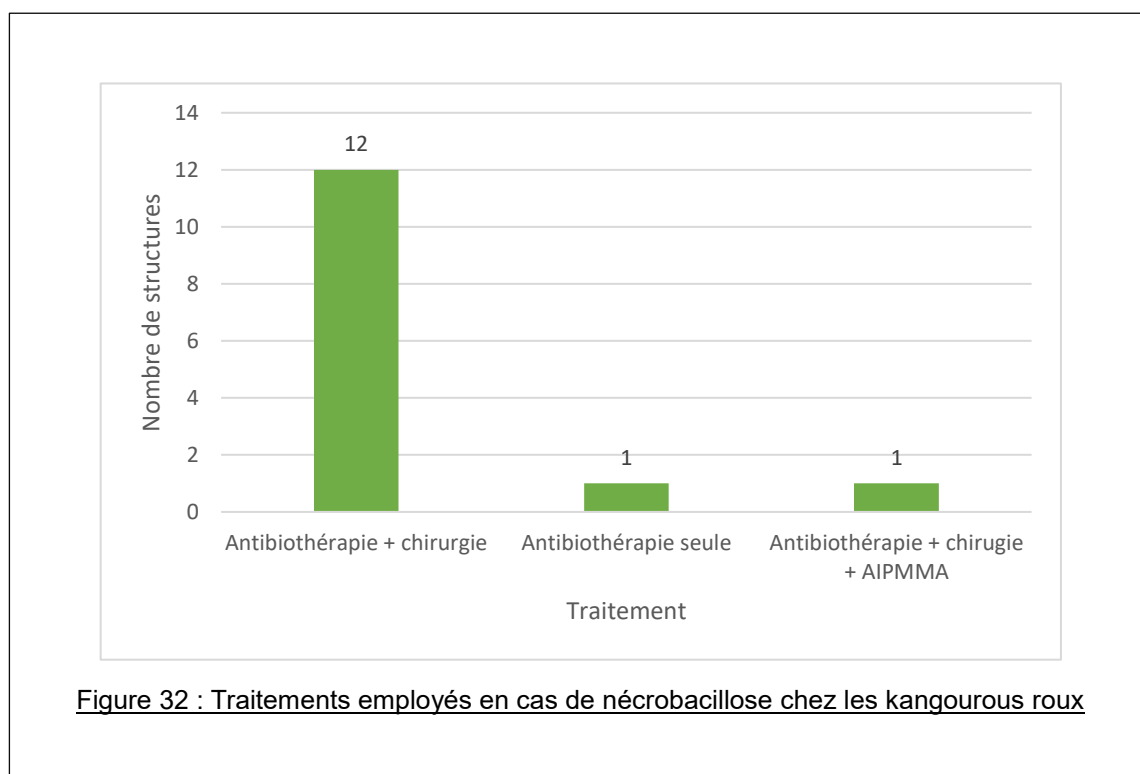


Figure 32 : Traitements employés en cas de nécrobacillose chez les kangourous roux

C.5.7 Vide sanitaire

Aucun des zoos interrogés ne réalise de vide sanitaire dans en enclos où est déclarée une lumpy-jaw.

C.5.8 Procédures chirurgicales effectuées

Pour les dix zoos qui mettent en œuvre une procédure chirurgicale en cas de nécrobacillose, celle-ci consiste systématiquement en une extraction dentaire associée à un parage des plaies et un débridement des tissus nécrosés.

C.5.9 Antibiothérapie

Plusieurs molécules sont citées comme étant utilisées en cas de nécrobacillose. Nous avons déjà mentionné l'amoxicilline et l'acide clavulanique utilisés au CERZA (Partie 2.I.C.5), qui appartiennent à la classe des bêtalactamines. Les autres zoos citent d'autres familles : macrolides (azithromycine), tétracyclines (oxytétracycline), aminosides (spectinomycine), fluoroquinolones (marbofloxacin, enrofloxacin) et lincosamides (clindamycine, lincomycine).

Aucun zoo n'utilise le même protocole antibiotique, ce qui traduit l'approche empirique face à cette maladie.

C.5.10 Importance de la nécrobacillose

Parmi les zoos interrogés, 71% considèrent la nécrobacillose comme une problématique majeure pour la conservation des kangourous roux en captivité aujourd'hui. Il est intéressant de constater qu'un seul des trois zoos n'ayant pas subi de lumpy-jaw au cours des dix dernières années ne la considère pas comme une priorité. Cela illustre que même en cas de faible prévalence, la maladie reste une menace constante à cause de sa forte létalité et d'un faible têt de détection précoce.

C.5.11 Intérêt pour un autovaccin

Parmi les zoos sondés, 79% seraient intéressés par la conception d'un autovaccin issu de leurs souches pathogènes en cas de disponibilité d'une telle procédure. Parmi les critères les plus importants à leurs yeux, les principaux sont une haute efficacité, la facilité d'utilisation, l'absence d'effets secondaires et l'absence de rappel nécessaire.

C.5.12 Valeurs p obtenues

La totalité des valeurs p obtenues par la fonction test.t est récapitulée en tableau 10. On a choisi pour seuil de significativité une valeur p égale à 0,05. Les catégories où l'une des variables étaient représentées en un seul exemplaire n'ont pas pu être testées.

Tableau 10 : valeurs p associées aux variables explicatives chez le Kangourou roux

Variable explicative	Valeur p associée
Espace disponible par animal < 212 m ²	0,7847
Espace disponible par animal > 212 m ²	0,6217
Substrat de l'enclos : herbe	0,4311
Substrat de l'enclos : sol naturel	0,4421
Substrat de l'enclos : sable	0,1272
Substrat de l'enclos : béton	0,4635
Substrat de l'enclos : copeaux de bois	0,5496
Ramassage quotidien des selles	0,789
Accès des visiteurs	0,7023
Présence d'autres espèces	0,8477
Revêtement box intérieurs : béton	0,3756
Revêtement box intérieurs : tapis de caoutchouc	0,4834
litière box intérieurs : paille	0,2935
litière box intérieurs : foin	0,2144
Température maintenue : <16°C	0,5391
Température maintenue : >16°C	0,4538
Herbe dans la ration	0,8098
Foin de prairie dans la ration	0,7376
Foin de luzerne dans la ration	0,747
Légumes dans la ration	0,6325
Fruits dans la ration	0,5654
Supplémentation	0,6876
Distribution de la ration : mangeoires	0,0204
Distribution de la ration : sol	0,146
Utilisation de chirurgie	0,0621
Utilisation bêtalactamines	0,1351
Utilisation métronidazole	0,563

Utilisation tétracyclines	0,4461
Utilisation aminosides	0,02172
Utilisation fluoroquinolones	0,01373
Utilisation lincosamides	0,6565

D. Résultats du questionnaire pour les wallabys de Bennett

D.1 Instituts ayant répondu et effectifs actuels

Pour les wallabys de Bennett, seuls les centres francophones ont été contactés pour ce questionnaire, car il s'agit d'une espèce beaucoup plus répandue que le Kangourou roux. Nous pourrions ainsi comparer les conditions des zoos français entre eux. Parmi les 41 zoos ainsi contactés, nous avons obtenu onze retours, et donc un taux de réponse de 27%. La liste des structures ayant répondu ainsi que leur effectif actuel de wallabys de Bennett est consultable en tableau 11.

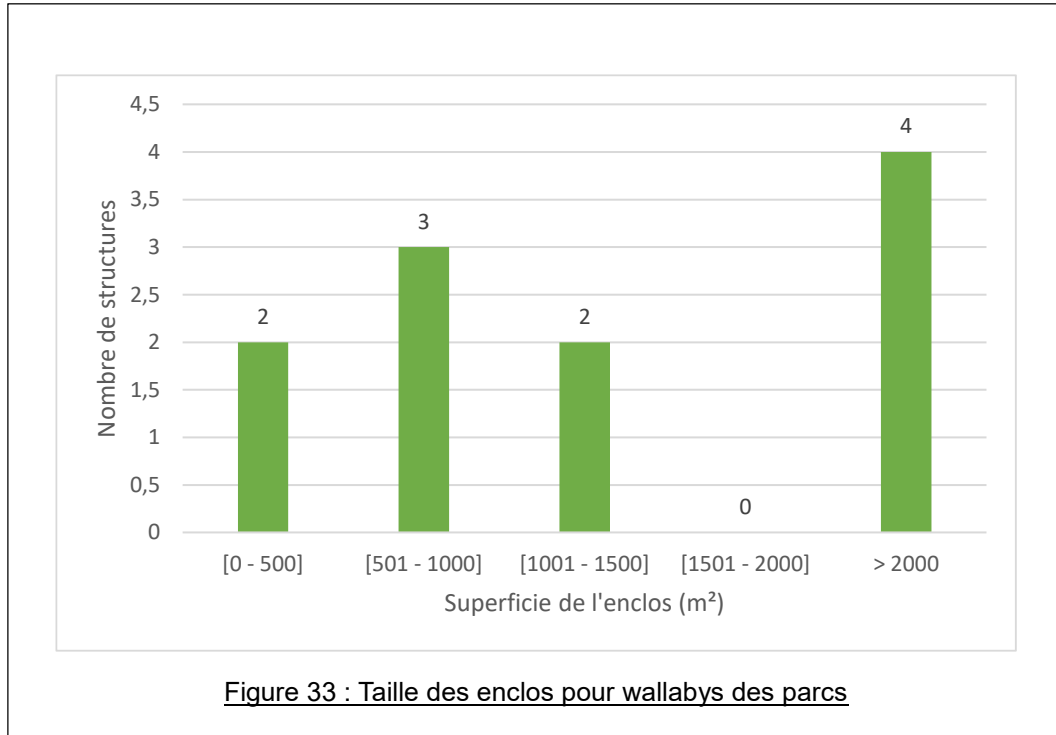
Tableau 11 : données sur les structures hébergeant des wallabys de Bennett

Nom de l'institut	Pays	Nombre de wallabys de Bennett	Année de début d'activité
Zoo du bassin d'Arcachon	France	10	2000
Zoo de Montpellier	France	2	2012
Parc Merveilleux	Luxembourg	8	2003
Zoo du bois d'Attilly	France	1	2008
Zoo d'Amnéville	France	4	1998
Réserve africaine de Sigean	France	4	1990
Parc zoologique d'Amiens Métropole	France	3	2001
Safari de Peaugres	France	6	1974
Parc d'Isle	France	3	2017
African safari	France	5	1978
CERZA	France	6	2003

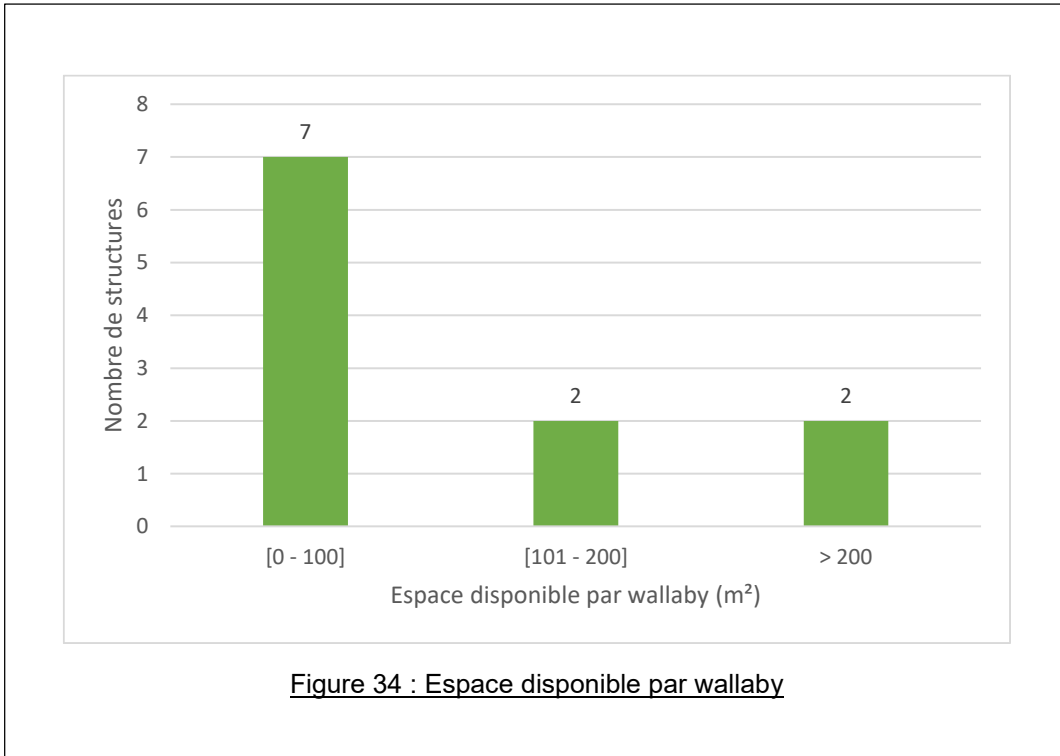
D.2 Gestion de l'enclos

D.2.1 Taille de l'enclos et densité

La taille des enclos varie d'un zoo à un autre, allant de 500 m² à 40 km², avec une médiane de 1200 m² (figure 33). Les plus grands enclos correspondent généralement à des circuits de type « safari ».

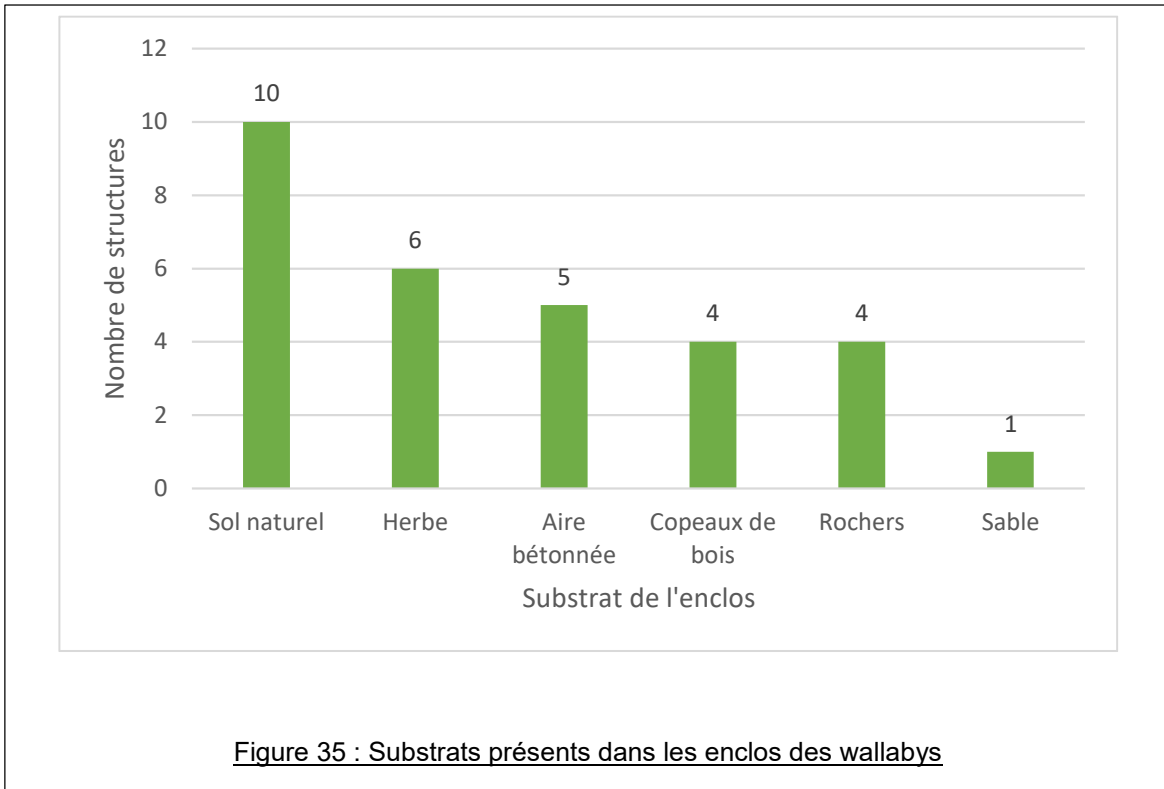


Selon le zoo, chaque wallaby a entre 12 m² et 1250 m², avec une médiane à 88 m² par animal (figure 34). Il faut noter que ces données prennent en compte uniquement les wallabys présents dans l'enclos et n'incluent pas d'autres espèces qui pourraient éventuellement s'y trouver et partager l'espace.



D.2.2 Nature du substrat

Dans la plupart des enclos, l'herbe et le sol naturel sont privilégiés (figure 35). Ces substrats se rapprochent le plus des conditions de vie des wallabys en milieu naturel qui vivent dans des régions relativement boisées.



Les aires bétonnées correspondent aux zones de distribution de nourriture.

Les selles sont ramassées quotidiennement. Un zoo passe une souffleuse sur l'herbe deux fois par semaine et désinfecte la dalle en béton quotidiennement.

D.2.3 Contact avec des visiteurs et/ou d'autres espèces

Quatre des zoos proposent aux visiteurs de pénétrer dans l'enclos des wallabys. Les wallabys partagent leur enclos avec d'autres espèces chez six des zoos sondés. La liste des espèces en question est détaillée dans le tableau 12.

Tableau 12 : liste des espèces partageant l'enclos des wallabys de Bennett

Nom du parc zoologique	Espèces présentes dans l'enclos des kangourous roux
Zoo du bassin d'Arcachon	<i>Osphranter rufus</i> , <i>Dromaius novaehollandiae</i>
Zoo de Montpellier	<i>Dromaius novaehollandiae</i>
Zoo du bois d'Attilly	<i>Pelecanus spp.</i> , canards
Réserve africaine de Sigean	<i>Pavo cristatus</i>
Parc d'Isle	<i>Dromaius novaehollandiae</i>
CERZA	<i>Muntiacus reevesi</i> , <i>Notamacropus parma</i> , <i>Ciconia ciconia</i> , <i>Dendrocygna bicolor</i> , <i>Anser indicus</i> , <i>Melleagris gallopavo</i>

D.3 Logement intérieur

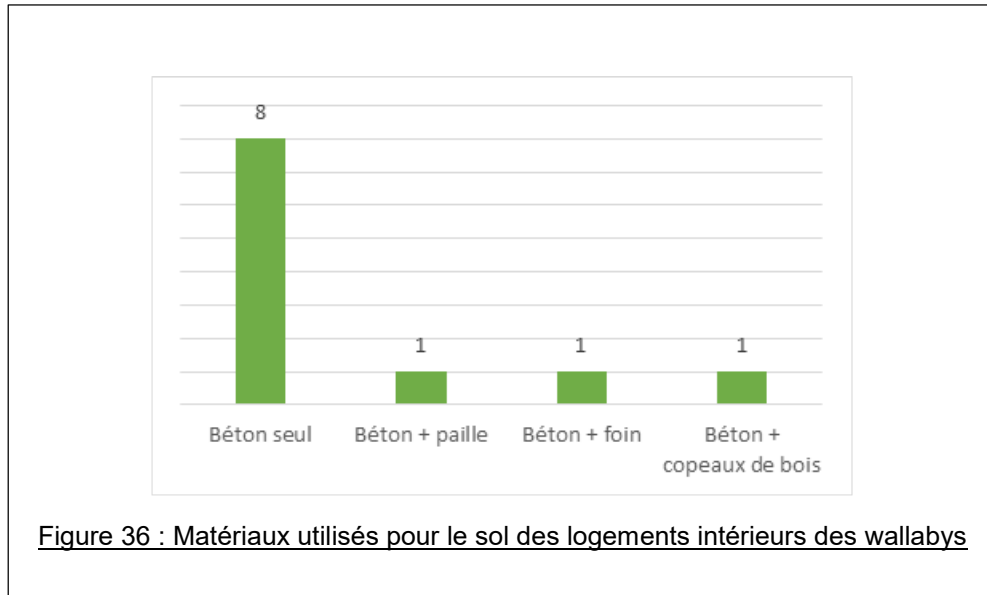
Seul un zoo ne propose pas de logement intérieur disponible aux wallabys de Bennett. A la place, ils ont accès à un abri chauffé extérieur de 12 m² et quelques grottes artificielles de 6 m². Pour cette partie, l'abri chauffé sera compté comme un logement intérieur.

D.3.1 Nombre et taille des box

Pour les zoos disposant de logements intérieurs, ceux-ci font entre 5 m² et 24 m² et sont au nombre de 3 au maximum.

D.3.2 Litière et revêtement

Huit zoos utilisent du béton seul comme base pour les logements intérieurs. Les trois autres zoos y rajoutent de la paille, du foin et des copeaux de bois (figure 36).



A cela s'ajoute la litière, pour laquelle huit zoos utilisent de la paille, et les trois autres des copeaux de bois.

D.3.3 Température

Seuls quatre zoos monitorent et contrôlent la température pour les logements intérieurs des wallabys. Les températures fixées pour chacun de ces zoos sont 10°C, 12°C, 15°C et 18°C.

Un des zoo déclare que le bâtiment a les portes ouvertes en permanence, d'où l'impossibilité de maintenir une température constante. Dans un autre cas, des radiateurs sont présents mais n'élèvent pas la température de façon significative.

D.3.4 Accès permanent ou semi-permanent

Seuls trois zoos n'offrent pas un accès permanent au logement intérieur par les wallabys. La fermeture d'accès aux bâtiments peut être due à leur taille réduite par rapport au nombre d'animaux (laissés accessibles uniquement en hiver), au désir de faire en sorte que le public voit mieux les animaux (laissés accessibles uniquement en dehors des heures d'ouverture), ou aux contraintes liées au nettoyage des loges.

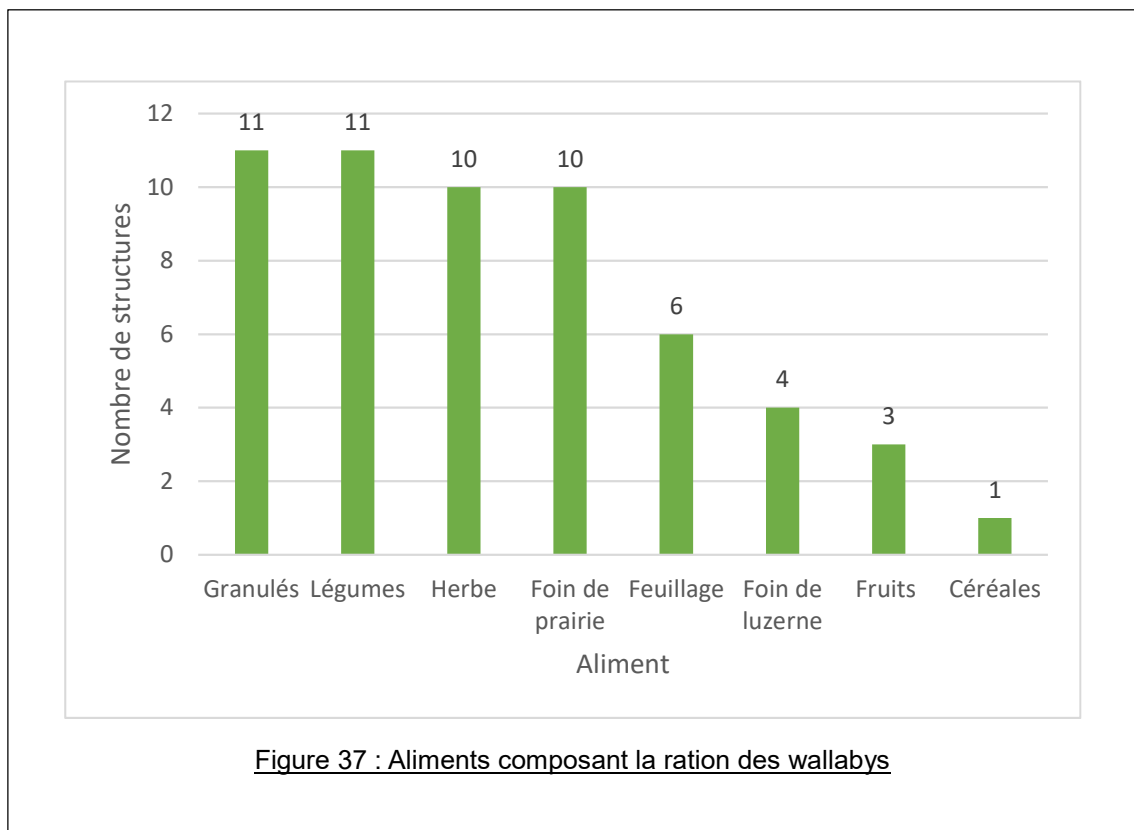
D.4 Alimentation

D.4.1 Accès à de la végétation naturelle

A l'exception d'un zoo, la totalité des wallabys ont accès à de l'herbe naturelle pour pâturer à longueur de journée.

D.4.2 Composition de la ration

A l'exception du zoo où les wallabys n'ont pas d'accès à du pâturage naturel, tous les animaux ont de l'herbe dans leur ration. L'ensemble des zoos utilisent des granulés et des légumes dans la ration ; 10 zoos utilisent du foin de prairie ; 4 zoos utilisent du foin de luzerne ; 3 zoos proposent des fruits dans la ration ; 6 zoos proposent de l'ensilage et 1 zoo propose des céréales (figure 37).



D.4.3 Supplémentation

Les sept zoos qui ajoutent des compléments alimentaires à la ration des wallabys utilisent tous au minimum de la vitamine E, parfois associée à d'autres vitamines (A, B3, D). Un de ces zoos effectue également des cures de sélénium avant tout événement stressant (type capture).

D.4.4 Conditions de distribution

Au total, dix zoos distribuent la nourriture à l'aide de mangeoires. Un zoo disperse également la nourriture au sol. Un seul zoo ne se sert pas de mangeoire.

D.5 Nécrobacillose

Un seul zoo de l'étude ne rapporte pas d'historique de nécrobacillose dans sa population de wallabys de Bennett depuis au moins dix ans.

Pour les zoos concernés, la proportion d'individus affectés parmi tous les wallabys de Bennett hébergés au cours des 10 dernières années varie entre 16,3 % et 60 %, avec une prévalence moyenne à 21 % (figure 38).

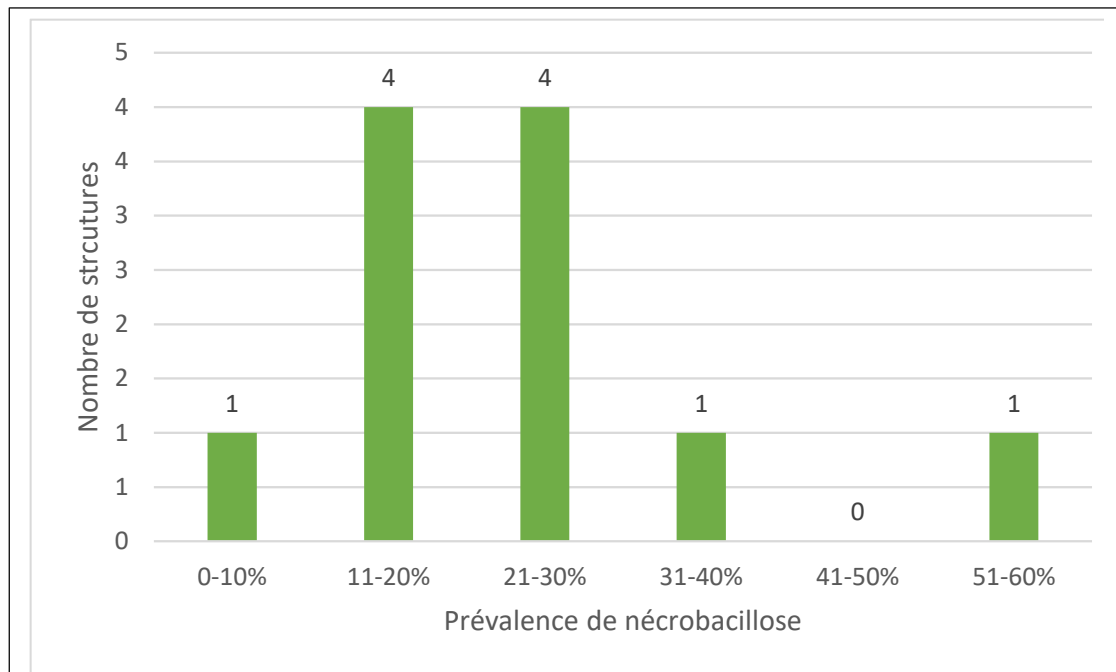
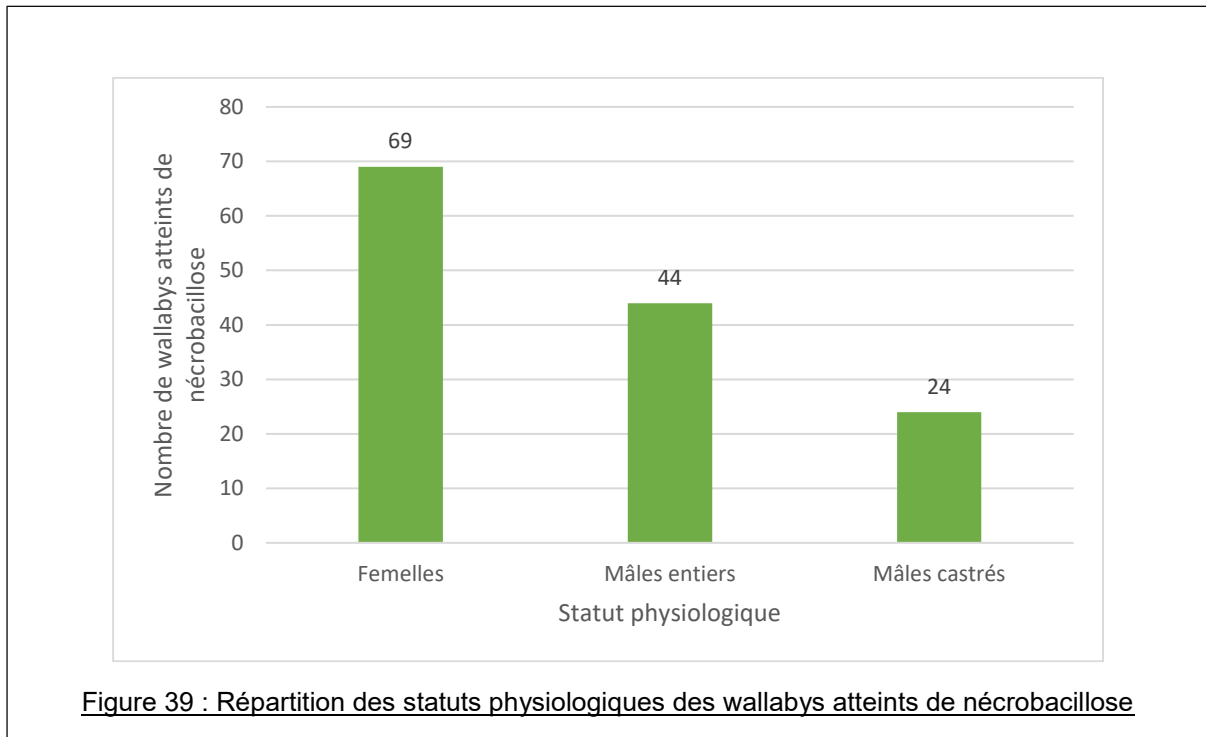


Figure 38 : Prévalence de nécrobacillose chez les wallabys de Bennett hébergés dans les centres sondés les 10 dernières années

D.5.1 Statut physiologique

Parmi les 137 individus touchés, tous zoos confondus, 69 (50%) étaient des femelles, 44 (32%) étaient des mâles entiers et 24 (18%) étaient des mâles castrés (figure 39).



D.5.2 Age moyen

Pour les zoos ayant renseigné l'âge moyen d'apparition des signes cliniques, les valeurs varient entre 1 an et 6 ans (figure 40). La médiane se situe à 4 ans.

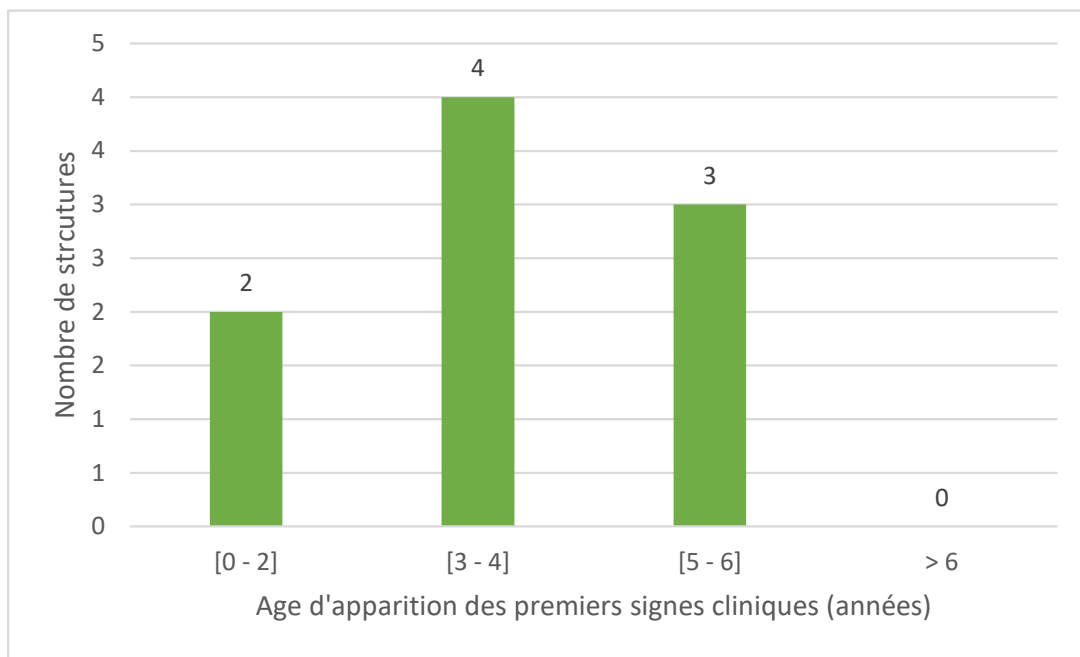


Figure 40 : Age moyen d'apparition des signes cliniques de nérobacillose chez les wallabys

D.5.3 Récidive et létalité

Parmi les dix zoos ayant un historique de nérobacillose dans leur population de wallabys de Bennett, certains ont des taux de récurrence de 100% même lorsque la maladie semble jugulée, tandis que d'autres affirment que les individus traités ne contractent plus jamais la maladie (figure 41).

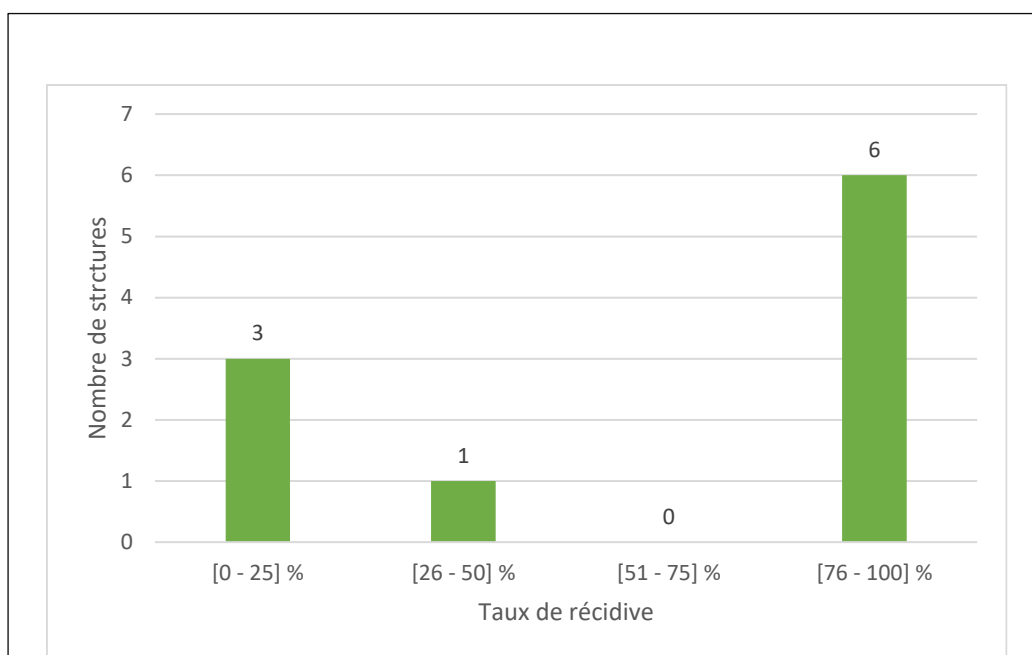
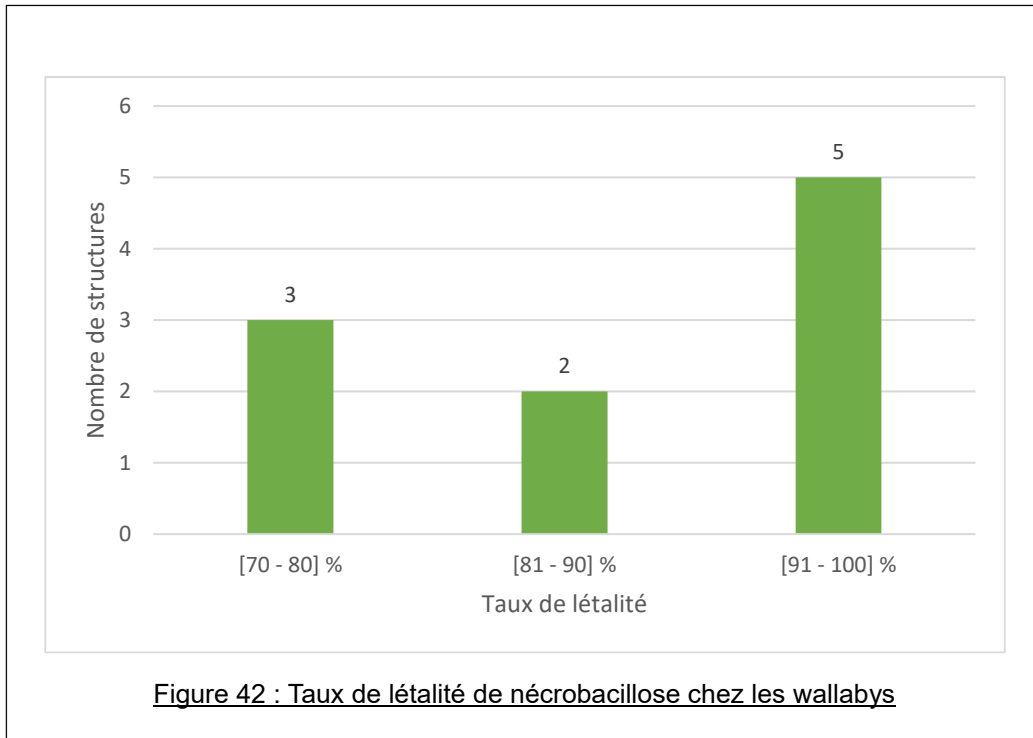


Figure 41 : Taux de récurrence de nérobacillose chez les wallabys

La mortalité est élevée : 75% à 100% des wallabys de Bennett atteints de lumpy-jaw finissent par en mourir (figure 42).



D.5.4 Examens complémentaires

Comparé à la gestion des kangourous roux, assez peu d'examen complémentaire sont réalisés chez les wallabys de Bennett atteints de nécrobacillose. Deux zoos font recours à de l'imagerie radiographique, deux zoos se servent de culture bactériologique et un zoo utilise une combinaison des deux méthodes.

D.5.5 Résultats bactériologiques

Pour les trois zoos ayant recours à des cultures bactériologiques, les bactéries identifiées sont listées en tableau 12. Seul *F. necrophorum* a été retrouvé dans plus d'une population.

Tableau 13 : liste des bactéries retrouvées lors de cultures issues de cas de nécrobacillose de wallabys de Bennett

Bactérie	Gram positif ou négatif	Métabolisme	Nombre d'occurrences
<i>Fusobacterium necrophorum</i>	Négatif	Anaérobie stricte	2
<i>Bacteroides pyogenes</i>	Négatif	Anaérobie stricte	1
<i>Prevotella salivae</i>	Négatif	Anaérobie stricte	1
<i>Enterobacter spp.</i>	Négatif	Anaérobie facultative	1

D.5.6 Traitement

Quatre zoos sur les onze ont systématiquement recours à une combinaison de traitement antibiotique et de chirurgie. Deux zoos se servent uniquement d'une antibiothérapie. Deux zoos utilisent également l'AIPMMA en complément de l'antibiothérapie et de la chirurgie (figure 43).

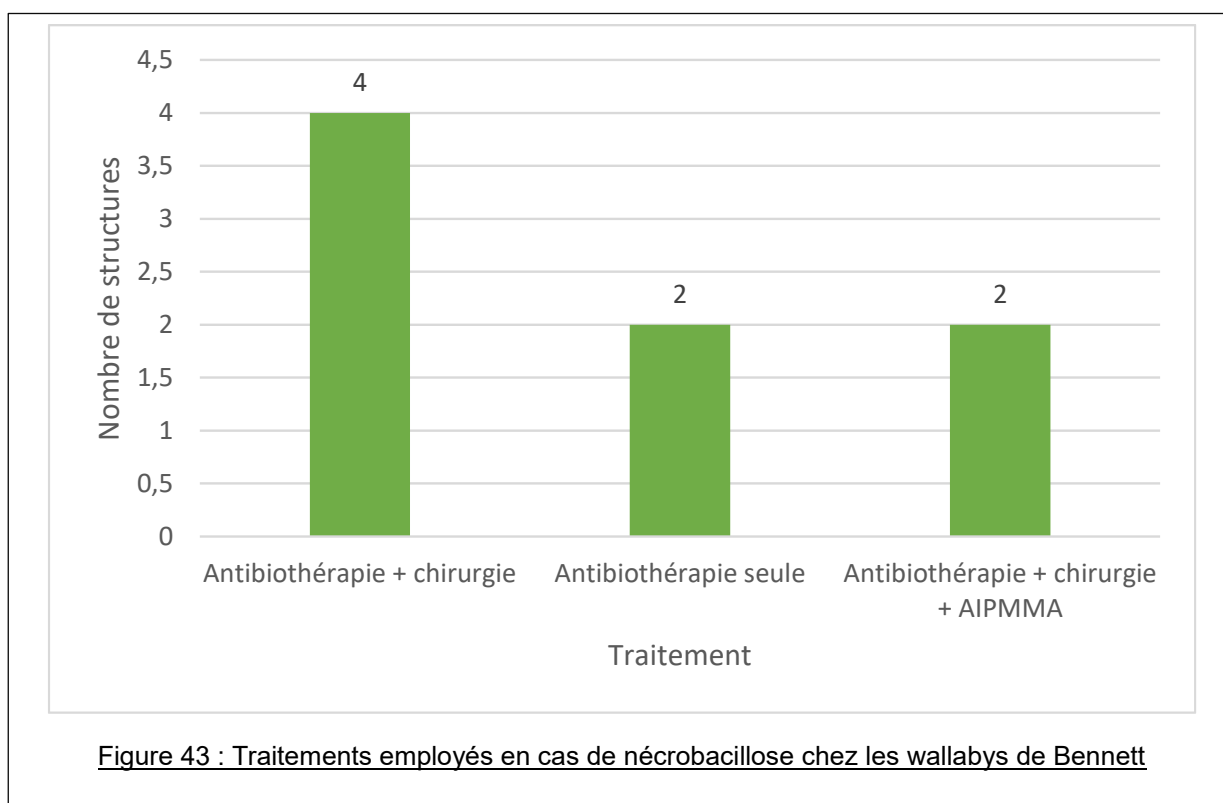


Figure 43 : Traitements employés en cas de nécrobacillose chez les wallabys de Bennett

D.5.7 Vide sanitaire

Aucun des zoos interrogés ne réalise de vide sanitaire dans en enclos où est déclarée une lumpy-jaw.

D.5.8 Procédures chirurgicales

Comme pour les kangourous roux, les procédures chirurgicales effectuées consistent en un parage des plaies et débridement des tissus nécrosés avec extraction dentaire si nécessaire.

D.5.9 Antibiothérapie

Les molécules utilisées par les zoos pour traiter la nécrobacillose chez les wallabys de Bennett correspondent à celle employées chez le Kangourou roux : bêtalactamines (benzylpénicilline, amoxicilline, acide clavulanique), macrolides (tulathromycine, gamithromycine), tétracyclines (oxytétracycline), aminosides (dihydrostreptomycine), nitroimidazole (métronidazole). On note l'utilisation supplémentaire de céphalosporines (ceftiofur), mais aucune mention de fluoroquinolones ou de lincosamides.

D.5.10 Importance de la nécrobacillose

La totalité des zoos sondés considèrent la nécrobacillose comme une problématique majeure pour les macropodes en captivité aujourd'hui.

D.5.11 Intérêt pour un autovaccin

La totalité des zoos sondés seraient intéressés par la conception d'un autovaccin issus de leurs souches pathogènes en cas de disponibilité d'une telle procédure.

Parmi les critères les plus importants à leurs yeux, les principaux sont une haute efficacité, la facilité d'utilisation, l'absence de rappel nécessaire et un prix raisonnable.

D.5.12 Valeurs p obtenues

De même que pour le Kangourou roux, les variables représentées en un seul exemplaire ont été écartées de l'analyse bivariée. Pour le Wallaby de Bennett, aucune variable explicative potentielle n'a de valeur p remplissant la condition satisfaisante pour paraître significative (tableau 14).

Tableau 14 : valeurs p associées aux variables explicatives chez le Wallaby de Bennett

Variable explicative	Valeur p associée
Espace disponible par animal < 88 m ²	0.5163
Espace disponible par animal > 88 m ²	0.3209
Substrat de l'enclos : herbe	0.7987
Substrat de l'enclos : béton	0.122
Substrat de l'enclos : copeaux de bois	0.1492
Substrat de l'enclos : rochers	0.5105
Accès des visiteurs	0.8104
Présence d'autres espèces	0.9957
Litière des box intérieurs : paille	0.7029
Litière des box intérieurs : copeaux de bois	0.7713
Foin de luzerne dans la ration	0.1345
Fruits dans la ration	0.7474
Feuillages dans la ration	0.3016
Supplémentation	0.3769
Utilisation de chirurgie	0.4309
Utilisation de AIPMMA	0.4622
Utilisation bêtalactamines	0.8944
Utilisation métronidazole	0.3619
Utilisation macrolides	0.5669
Utilisation tétracyclines	0.897

E. Discussion

Comme exposé précédemment, l'identification des facteurs pouvant influencer la prévalence de la nécrobacillose chez les macropodes en captivité va se baser sur une analyse comparative entre les taux de prévalence selon les variables introduites par le questionnaire.

E.1 Interprétation des résultats

E.1.1 Kangourou roux

Comme on le constate en tableau 10, la plupart des variables offrent des valeurs p obtenues sont supérieures à 0,05, ce qui indiquerait une influence non significative de ces

variables sur la prévalence de la nécrobacillose dans les populations de kangourous roux. Ces valeurs ont été obtenues par analyse bivariée et les variables n'ont donc pas été analysées en même temps. Les résultats doivent donc être interprétés comme des tendances générales. Ceci peut s'expliquer par le nombre restreint de données obtenues par le questionnaire, et le manque de précisions de certaines réponses (cf partie 2.II.E.2).

Quelques variables se démarquent tout de même :

- Distribution de la ration : il semblerait que les populations utilisant des mangeoires pour la distribution de la nourriture présentent des prévalences plus importantes de nécrobacillose. Pourtant, l'utilisation de mangeoires est vivement conseillée afin d'éviter les risques de transmission oro-fécales par de la nourriture contaminée au sol [14]. Il est possible que la concentration de la nourriture dans un espace restreint entraîne des conflits qui peuvent résulter en des blessures entre individus par contact physique entre eux ou avec la mangeoire en elle-même. Les mangeoires pourraient en effet favoriser le dépôt de bactéries anaérobies par les animaux infectés et leur transmissions aux animaux sains. De plus les animaux peuvent déféquer dans les mangeoires si celles-ci sont posées au sol ou trop basses (cf E.1.2) ;
- Utilisation d'aminosides : l'utilisation d'aminosides dans le traitement médical des kangourous semble être associée à une prévalence plus faible de nécrobacillose. Les instituts ayant recours à cette famille d'antibiotiques ont peut-être une meilleure gestion globale de la maladie, ce qui résulte en une prévalence plus faible par rapport aux autres zoos utilisant uniquement des antibiotiques plus courants ;
- Utilisation de fluoroquinolones : de même que pour les aminosides, il est possible que les zoos allant jusqu'à utiliser des antibiotiques critiques soient aussi plus rigoureux dans leur prévention et ainsi aient une prévalence de lumpy-jaw diminuée.

En revanche, notre étude ne nous permet pas d'identifier d'autres facteurs associés à la présence de nécrobacillose, bien qu'un certain nombre soit décrits dans la littérature.

Ainsi, la densité minimale recommandée est de 56 m² par kangourou [6]. Une seule population étudiée ici offre une superficie par animal inférieure à 56 m² et est donc en surdensité par rapport aux recommandations. Étant la seule, nous ne pouvons pas tester l'influence d'une superficie inférieure aux recommandations, nous avons donc uniquement séparé les superficies en deux groupes de part et d'autre de la médiane (212 m²). Aucune de ses deux populations ne semble avoir davantage de lumpy-jaw.

De même, la facilité de nettoyage du substrat, tout comme l'élimination quotidienne des selles sont décrits comme pouvant être diminuer la prévalence de nécrobacillose, ce qui ne semble pas évident dans notre étude [14, 58].

Théoriquement, la base de la ration devrait toujours être constituée d'herbe et de foin à volonté, car les fibres ainsi apportées sont essentielles pour les macropodes. Dans notre étude, l'herbe peut avoir été omise par une structure où elle est naturellement présente dans l'enclos, et les légumes sont plus souvent présents que le foin dans les rations. Les granulés constituent une source importante d'énergie et de minéraux, ce qui explique leur emploi systématique dans notre étude. En revanche, les fruits, les céréales et l'ensilage ne sont pas spécialement indiqués dans la ration des kangourous [6].

Les besoins en vitamine E des kangourous sont particulièrement importants. Il se peut que les zoos n'apportant pas de complément considèrent que les granulés sont une source complète de nutriments. Des apports supplémentaires de minéraux tels que le calcium et le phosphore sont également conseillés, d'où l'utilisation des pierres à lécher [14].

La prévalence moyenne de la nécrobacillose chez le Kangourou roux dans les zoos étudiés est de 22%, tandis que des études sur d'autres populations l'ont plutôt estimé autour de 13% [58]. Il se peut que le taux de détection soit meilleur dans notre échantillon, que les individus ne meurent pas aussi rapidement de leur maladie avant que le diagnostic ne soit établi, que les conditions de détention soient suboptimales, ou que les critères d'inclusion ne soit pas les mêmes selon les études.

Il est intéressant de constater que 80% des kangourous roux atteints de nécrobacillose sont des femelles (figure 22). Bien que les données ZIMS montrent effectivement que les effectifs de femelles en captivité sont plus importants que ceux des mâles (tableau 2), le sex-ratio semble être plutôt proche de 60% de femelles pour 40% de mâles (hormis individus de sexe indéterminé). Il semblerait donc que les femelles soient sur-représentées dans les cas de nécrobacillose dans notre étude, alors que plusieurs vétérinaires ont le ressenti d'observer plus de cas de nécrobacillose chez les mâles entiers. La littérature décrit également que les mâles semblent être deux fois plus concernés par la maladie que les femelles en captivité [58].

Pour en être certain, il faudrait pouvoir connaître le nombre exact de femelles, mâles entiers, et mâles stérilisés hébergés par les zoos au cours des 10 dernières années pour ensuite évaluer la prévalence associée à chaque statut physiologique. Le questionnaire ne permet pas de répondre à cette question.

La littérature décrit que la prévalence de nécrobacillose augmente avec l'âge des kangourous, notamment au-delà de 10 ans d'âge [58]. Les populations étudiées ici semblent en comparaison contracter la maladie relativement tôt. Cela peut être dû à une détection plus précoce des premiers signes cliniques pour les populations les plus restreintes, ou une gestion globale moins bonne.

Enfin, la létalité de la maladie est décrite aux alentours de 62,5% dans la littérature ^[58], ce qui est bien inférieure aux 100% observés dans les zoos étudiés. Ceci peut s'expliquer par un calcul différent des létalités. Considérons un animal qui guérit de trois épisodes différents de nécrobacillose mais qui finit par mourir des mêmes signes cliniques qui réapparaissent. Selon le vétérinaire, l'interprétation peut être qu'il est décédé de la nécrobacillose qui s'est déclarée en premier lieu (létalité de 100%), ou qu'il s'est rétabli de trois nécrobacilloses avant de mourir de la 4^{ème} (létalité de 25%). C'est une précision qu'il aurait été intéressante de rapporter dans le questionnaire. Il est également possible que, face à la difficulté de traiter la nécrobacillose et à la souffrance animale engendrée, la décision d'euthanasie soit prise assez rapidement sans tenter systématiquement le traitement

E.1.2 Wallaby de Bennett

Aucune conclusion ne semble pouvoir être tirée des différents facteurs étudiés par cette enquête (tableau 14).

D'après la littérature, la densité minimale recommandée est de 28 m² par animal ^[6]. Toutes les populations de notre étude remplissent le critère minimum de dimensions recommandées, nous avons donc uniquement séparé les superficies en deux groupes de part et d'autre de la médiane (88 m²). Aucune de ses deux populations ne semble avoir davantage de lumpy-jaw.

De même que pour le Kangourou roux, le substrat doit être de préférence de l'herbe ^[14]. Ici, le sol naturel sans herbe est plus représenté, et plusieurs enclos proposent également des zones rocheuses ou des copeaux de bois plutôt que du sable. Cela se rapproche plus des conditions de vie en milieu naturel du Wallaby de Bennett ^[13, 41].

Le sex-ratio des wallabys atteints de nécrobacillose est de 50% de femelles et 50% de mâles. Deux vétérinaires ont l'impression d'observer plus de mâles atteints, mais un autre considère les femelles plus sensibles. La littérature ne décrit pas de facteurs prédisposants en terme de sexe chez cette espèce.

Comme pour le Kangourou roux la prévalence de nécrobacillose augmente avec l'âge des wallabys, notamment au-delà de 10 ans d'âge ^[58]. Les populations étudiées ici semblent alors également contracter la maladie relativement tôt. Cela peut-être dû à une détection plus précoce des premiers signes cliniques pour les populations les plus restreintes, ou une gestion globale moins bonne.

La létalité de la maladie est décrite aux alentours de 60% dans la littérature ^[58], ce qui est bien inférieure aux 100% observés dans les zoos. Comme pour la Kangourou roux, il est

possible que les manières d'apprécier la létalité diffèrent ou que la décision d'euthanasie soit prise assez rapidement sans tenter systématiquement le traitement.

Le cas du zoo 5 est intéressant à commenter. Ce zoo possède une prévalence de nécrobacillose de 18% (figure 31), et se démarque des autres par un taux de récurrence de 25% et un taux de létalité de 75%, qui sont relativement bas (figures 34 et 35). Leur méthode de traitement est une approche multimodale avec la plus large batterie de familles d'antibiotiques différentes (bêtalactamines, macrolides, tétracyclines, aminosides et céphalosporines), de la chirurgie et l'utilisation de billes AIPMMA (aminoside, glycopeptide, métronidazole). Le vétérinaire de ce zoo a apporté beaucoup de précisions quant à leurs procédures et les résultats constatés dans leur population. Parmi leurs nombreuses molécules employées, la gamithromycine (macrolide) semble être particulièrement efficace chez les individus jeunes encore en soin. Empiriquement, ils considèrent obtenir les meilleurs résultats avec une association de Naxcel[®] (ceftiofur) et de Shotapen[®] (benzylpénicilline, dihydrostreptomycine). Le Naxcel[®] est un antibiotique critique et a une AMM pour traiter la nécrobacillose interdigitée aiguë chez les bovins. Il possède des propriétés pharmacodynamiques contre *F. necrophorum*, ce qui pourrait expliquer l'efficacité du traitement et la baisse de mortalité. Le zoo évite également les administrations quotidiennes et préfère effectuer des injections tous les 3 à 6 jours. Ceci induit moins de stress et de risques de blessures pour les animaux, ce qui pourrait participer à un meilleur rétablissement et une baisse du risque de récurrences.

Le zoo 5 a également conduit sa propre enquête épidémiologique au sein de sa population et a investigué certains facteurs particuliers :

- Surdensité et agressivité : Le vétérinaire déplore l'impossibilité d'agrandir l'enclos, mais déclare que tous les mâles ont pu être castrés afin de diminuer l'agressivité au sein du groupe ;
- Hygiène des zones de nourrissage : Après des analyses de selles, la présence de *Bacteroides spp.* et de *F. necrophorum* dans le sol des enclos est connue. Or, plusieurs individus avaient tendance à monter dans les gamelles et donc d'y mettre leurs pattes potentiellement "contaminée" voire d'y déféquer. De plus, les animaux avaient tendance, en fouillant dans la gamelle, à faire tomber les aliments sur la zone bétonnée, marcher dessus, et les manger seulement après. Ils ont donc surélevé les gamelles pour qu'elle soient à hauteur de bras, ce qui pousse les wallabys à manger ce qu'ils ont en main et à ne pas monter dedans. Ils ont également augmenté la fréquence de la désinfection de la zone bétonnée sur laquelle les aliments peuvent tomber avant d'être mangés (idem pour le nettoyage des gamelles).

- Hygiène de la nourriture : Lorsque du branchage est proposé, il est installé dans l'enclos et donc peut se recouvrir d'un peu de terre contaminée et infecter les wallabies au niveau oral s'ils ont des micro-lésions préexistantes. Malheureusement, la taille restreinte de l'aire bétonnée empêche les soigneurs d'y déposer les branches.
- Hygiène de l'enclos : La partie herbeuse est soufflée une à deux fois par semaine, mais le vétérinaire doute de l'efficacité de cette méthode et suspecte une hygiène très sous-optimale. Au vu des nombreux cas de nécrobacillose, il souhaiterait faire un vide sanitaire avec une désinfection complète de l'enclos, mais c'est impossible pour le moment car il n'existe actuellement aucun endroit où transférer le groupe en attendant.
- Humidité de l'enclos : La situation géographique du zoo le rend exposé à l'humidité, et notamment à la formation de boue l'hiver. Le vétérinaire suppose que c'est un substrat propice aux bactéries anaérobies comme *F. necrophorum*. L'enclos est en projet de réfection pour un enclos immersif, avec une attention portée sur un drainage efficace.
- Traumatismes dentaires : L'enclos a été temporairement immersif avec communication entre deux enclos, mais l'accès a été refermé depuis. Certains wallabys dans les moments de paniques ont tendance à se jeter dans le filet du côté du chemin qui était ouvert pendant un temps. Le zoo a ainsi eu des cas de lumpy-jaw avec atteinte des incisives et le vétérinaire suspecte que le point d'entrée est un traumatisme des incisives lorsque les animaux se jettent dans le filet.

E.2 Limites et biais

Après analyse des résultats des limites claires sont apparues dans cette enquête.

Echantillon restreint

L'échantillon de zoos ayant répondu aux questionnaires est trop faible. Seuls 28% des zoos contactés ont participé aux questionnaires, ce qui est peu représentatif. Plusieurs explications sont possibles :

- Manque de temps : Comme précisé en B.1, le questionnaire comprend de nombreuses questions précises demandant aux vétérinaires d'aller rassembler des informations sur tous les aspects de la vie de leurs macropodes. Cela a pu décourager des vétérinaires qui estimaient que le temps investi dans ce questionnaire les éloignait de leurs responsabilités plus importantes ;
- Erreurs de saisies : Deux courriels ont été reçus de vétérinaires déclarant avoir reçu un message d'erreur lors de la validation de leurs réponses. Il se peut ainsi que plusieurs réponses n'aient pas été comptabilisées ;

- Période de diffusion : Malgré des relances, la période de diffusion du questionnaire est restée relativement courte (4 mois). Il a été envoyé plus tard qu'initialement prévu à cause du temps mis à sélectionner les questions qui y figureraient, et de sa conception sur le logiciel Sphinx[®] qui était une nouveauté personnelle avec ses nombreuses fonctionnalités à découvrir.

Enfin, la cohorte pour les wallabys de Bennett ne comprend presque que des zoos français. Elle n'est pas représentative des populations de wallabys présentes dans toute l'Europe.

Ainsi, les données récoltées sont en nombre restreint. De fait, il est arrivé pour plusieurs questions que des réponses ne soient représentées que par un zoo unique, ce qui rend impossible une interprétation de leur influence sur les variations de prévalence obtenues.

Si une plus grande proportion des zoos avaient répondu, l'analyse statistique aurait pu éventuellement déceler plus de variables significatives.

Questionnaires incomplets ou mal remplis

Pour les questionnaires reçus, certains présentaient des réponses vides. Lorsque des zoos affirmaient ne pas avoir de nécrobacillose dans leur population, ils n'ont souvent pas rempli leurs procédés de traitement en cas d'apparition de la maladie. Il est possible que ces informations aient pu apporter davantage de perspective sur les circonstances d'apparition de la maladie et permis d'identifier des facteurs clés dans la lutte préventive contre la lumpy-jaw.

Les questions de nature « ouvertes » ont amené à des inégalités dans la façon d'y répondre. Par exemple, dans le cas des familles d'antibiotiques utilisées ainsi que des posologies, les vétérinaires renseignaient parfois uniquement le nom déposé ou la famille, et les posologies ont été exprimées selon les zoos en mg/kg, UI/kg, mL/kg ou mL/10 kg.

Données manquantes

Des questions initialement absentes du questionnaire semblent *a posteriori* intéressantes à poser afin d'affiner les données obtenues. Nous avons déjà mentionné le fait de connaître la proportion exacte de femelles et de mâles hébergés au cours de la période d'étude (E.1.1), mais d'autres précisions seraient intéressantes :

- La fréquence de conflits observés dans les populations de macropodes ;

- La composition exacte des enclos (effectifs pour chacune des espèces présentes dans l'enclos) afin d'en déterminer une vraie densité au lieu de seulement calculer la densité pour les macropodes ;
- Les conditions d'accès aux visiteurs (horaires d'ouverture, distance aux animaux, véhicules, appareils photographiques autorisé...);
- La composition exacte des rations (types de légumes, types fruits, quantité exacte...). Seules deux fiches d'alimentation précises ont été transmises ;
- Une description des signes cliniques observés et imputés à une nécrobacillose ;
- Les durées évaluées entre les traitements effectués et les récives qui ont suivi. ;
- Le détail de nombre d'exams complémentaires effectués et leurs résultats.

Pistes d'amélioration

Pour pouvoir tirer des conclusions sur plus de paramètres, un nouveau questionnaire serait le bienvenu, utilisant pour modèle celui conçu dans cette étude. En y rajoutant les questions nouvellement pensées et en autorisant un délai plus grand pour recevoir les réponses, il apparaît raisonnable de penser que plus de données seraient ainsi récoltées et pourraient amener à des résultats beaucoup plus interprétables.

Dans le futur, la lutte contre la nécrobacillose se jouera probablement essentiellement sur le développement de méthodes de prévention efficaces. A ce titre, les autovaccins ont suscité l'intérêt des structures interrogées, mais la complexité et le coût de leur conception empêchent leur mise en pratique pour la plupart des zoos.

Conclusion

La nécrobacillose est une problématique majeure pour les populations de kangourous roux et de wallaby de Bennett en captivité. Si ses facteurs prédisposants sont aujourd'hui pour la plupart connus, les circonstances exactes d'apparition restent mal comprises et les traitements échouent souvent. Les particularités anatomiques et physiologiques de ces espèces les rendent spécialement vulnérables aux infections bactériennes, notamment au niveau de la sphère buccale. *F. necrophorum* est ainsi une bactérie de la flore commensale des macropodes mais qui devient pathogène de manière opportuniste lors de micro-lésions ou de plaies. Bien que peu de cas soient observés dans la nature, la lumpy-jaw est décrite chez les populations de macropodes en captivité depuis une cinquantaine d'années. L'absence d'outils de prévention, la méconnaissance des mécanismes de sa transmission et les conséquences cliniques graves de son développement font que les cas déclarés sont souvent synonymes d'euthanasie. Néanmoins, les innovations scientifiques et le développement de nouvelles méthodes de traitement aux résultats encourageants ouvrent de nouvelles perspectives pour soigner efficacement à terme les individus atteints de nécrobacillose.

L'étude de cas du CERZA réalisée nous a permis de donner un exemple de l'importance de cette maladie en termes de prévalence et de pronostic, ainsi que la difficulté à la traiter. Au cours des 10 dernières années, le CERZA a eu 28 cas de nécrobacillose déclarés, répartis entre ses populations de kangourous roux et de wallabys de Bennett. Tous ces animaux ont fini par mourir de la maladie (mort naturelle ou induite), dans un délai allant de un jour à quatre années. Bien que le protocole de traitement soit souvent le même, les réponses ont parfois varié d'un individu à un autre. On peut l'expliquer par des variations individuelles intrinsèques aux animaux (âge, statut physiologique, compétence immunitaire...), ou bien par la présence d'autres agents pathogènes associés à *F. necrophorum* et résistants aux traitements administrés.

Nos questionnaires ont été rédigés de façon à faire un bilan de la nécrobacillose en Europe afin de cerner les populations les plus à risque et les paramètres zootechniques ayant une influence sur sa prévalence. Nous voulions également comparer les différentes méthodes de traitement utilisées par les vétérinaires en zoo sur ces espèces.

La majorité des zoos semblent concernés par cette maladie, à des prévalences variables. Chez les kangourous roux, la présence de la maladie se traduit par un taux de létalité de 100%, avec des récurrences systématiques pouvant arriver plusieurs mois après le premier traitement. Les wallabys de Bennett semblent un peu moins sensibles, certaines

populations ont un taux de récurrence de seulement 25% et un taux de létalité descendant jusqu'à 75%. Il est possible que leur taille plus petite facilite le dosage des traitements, mais aucune donnée n'explique cette différence à l'heure actuelle.

Malheureusement, le nombre restreint de réponses reçues ne permet pas de confirmer ou d'infirmer l'influence des facteurs étudiés sur la prévalence de la nécrobacillose. D'après la littérature, les résultats attendus seraient que la prévalence de la maladie augmente dans certaines conditions : densité élevée, substrat potentiellement traumatique pouvant causer des lésions (béton, paille...), stress induit par la présence dans l'enclos de visiteurs ou d'autres espèces d'animaux, logement intérieur de taille réduite et à des températures suboptimales, ration non adaptée avec éléments lésionnels ou trop riches (foin de mauvaise qualité, légumes pauvres en fibres, fruits...), absence de supplémentation (notamment en vitamine E), traitements inadaptés (antibiotiques inefficaces contre *F. necrophorum*).

Un bilan tiré d'un questionnaire plus complet servirait à tous les zoos hébergeant des kangourous roux et des wallabys de Bennett, voire également d'autres espèces de macropodes. Ils pourraient ainsi améliorer leurs conditions zootechniques pour diminuer la prévalence de la nécrobacillose et adapter au mieux leur prise en charge pour que le plus d'animaux possible se rétablissent définitivement. Les questionnaires ont montré un intérêt certain pour la conception d'autovaccins réalisables par les centres animaliers, ce qui serait un atout de taille dans la prévention de l'apparition de la maladie, et donc dans la survie des populations en captivité.

Bibliographie

[1] ACLAND, H.M.

Parma wallaby herpesvirus infection.
Journal of Wildlife Disease, July 1981

[2] Australian Government, Bureau of meteorology (page consultée le 14 mars 2023)

Adresse URL : <http://www.bom.gov.au/>

[3] Bakal-Weiss, Meytal, Doron Steinberg, Michael Friedman, Irith Gati, Nili Avni-Magen, Elizabeth Kaufman, and Eran Lavy. "Use of a Sustained Release Chlorhexidine Varnish as Treatment of Oral Necrobacillosis in Macropus Spp." Journal of Zoo and Wildlife Medicine 41.2 (2010): 371-73. Web.

[4] BARKER, I.K., O'CALLAGHAN, M.G., BEVERIDGE, I.

Host-parasite associations of Eimeria spp. (Apicomplexa: Eimeriidae) in kangaroos and wallabies of the genus Macropus (Marsupalia: Macropodidae).

International Journal for Parasitology, 1989.

[5] BARBER, D., CAMPBELL, J., DAVEY, J., LUKE, T., ÅGREN, E. and BEVERIDGE, I. Unilateral failure of development of mandibular premolars and molars in an Eastern Grey kangaroo (Macropus giganteus) and its effects on molar progression. Australian Veterinary Journal, 86: 64-66. (2008),

[6] BERTHET-JULIER, C.

Les kangourous : genre Macropus et Wallabia.

Th. : Med. Vet. : Créteil, Faculté de médecine de Créteil, 1993-ALFORT-97

[7] BLANDEN, D.R., LEWIS, P.R., FERRIER, G.R.

Vaccination against lumpy jaw and measurement of antibody response in wallabies (Macropus eugenii).

The Veterinary Record, July 1988

[8] BOUHANNA, L.

VADE-MECUM d'ophtalmologie vétérinaire, 2ème édition. Paris : éditions MED'COM, 2004

[9] BRINKLOW, B.R., LOUDON, A.S.I.

Evidence of a circannual rhythm of reproduction and prolactin secretion in a seasonally breeding macropodid marsupial, the Bennett's wallaby (Macropus rufogriseus rufogriseus). Journal of Reproduction and Fertility, 1993

[10] CLARKE, D.E.

Oral biology and disorders of chiroptera, insectivores, monotremes and marsupials.

The Veterinary Clinics of North America. Exotic Animal Practice, 2003

[11] COMBES A., DUCOS DE LAHITTE J.

Contribution À L'imagerie Médicale Du Wallaby De Bennett (Macropus Rufogriseus) (2007).

[12] CORELL R.A, PROWSE T.A.A, PRIDEAUX G.J.

Environmentally- and Human-induced Body-size Responses in Macropus Robustus and Macropus Rufus, Two Widespread Kangaroo Species with Largely Overlapping Distributions.

Austral Ecology 43.1 (2018)

[13] DAWSON, T.J.

Kangaroos.
Scientific American, 1977

[14] DEBIN S., DUCOS DE LAHITTE J.
Gestion Et Pathologie En Captivité Des Kangourous, Wallabies Et Wallarous Du Genre Macropus (2011)

[15] FLOCHER, G.J.R.
Reproduction du grand kangourou rouge (*Megaleia rufa*). Th. : Med. Vet. : Toulouse : 1975

[16] GAMBLE, K.C. Marsupial care and husbandry.
The Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice, 2004

[17] GEMMEL, R. T.
Birth in marsupials.
Comparative Biochemistry and Physiology, Part B, 2002

[18] GRZIMEK, B.
Le monde animal en 13 volumes. Encyclopédie de la vie des bêtes. Tome X. Zurich : édition Stauffacher SA, 1973. 13 volumes, 606 p.

[19] GULLAND, F., LEWIS, J., KOCK, R.A., KIRKWOOD, J.K. Vaccination against lumpy jaw in wallabies.
The Veterinary Record, September 1987

[20] HALL, V., DUERDEN, B.I., MAGEE, J.T., RYLEY, H.C., BRAZIER, J.S.
A comparative study of *Fusobacterium necrophorum* strains from human and animal sources by phenotypic reactions, pyrolysis mass spectrometry and SDS-PAGE.
Journal of Medical Microbiology, 1997

[21] HARROP, C.J.F., BARKER, S.
Blood chemistry and gastro-intestinal changes in the developing red kangaroo (*Megaleia rufa*, Desmarest).
Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science, 1972

[22] HAWKEY, C.M., ASHTON, D.G., HART, M.G., CINDERY, R.N., JONES, D.M. Haematological findings in red-necked wallabies (*Protemnodon rufogrisea*) with necrobacillosis.
Research in Veterinary Science, November 1982

[23] HERBERT, C.A., TRIGG, T.E., COOPER, D.W.
Effect of deslorelin implants on follicular development, parturition and post-partum oestrus in the tammar wallaby (*Macropus eugenii*).
Reproduction, 2004

[24] HERBERT, C.A., TRIGG, T.E., RENFREE, M.B., SHAW, G., ECKERY, D.C., COOPER, D.W.
Long-term effects of deslorelin implants on reproduction in the female tammar wallaby (*Macropus eugenii*).
Reproduction, 2005

[25] HOLZ, P.

Marsupialia (Marsupials)

In: FOWLER, M.E, MILLER, R., E.

Zoo and wild animal medicine. Current therapy. 5th edition. Denver: Saunders Company, 2003

[26] HUNT, M., SLOTNICK, B., CROFT, D.

Olfactory Function in the Red Kangaroos (*Macropus rufus*) Assessed Using Odor-Cued Taste Avoidance.

Physiology and behaviour, 1999

[27] IUCN (page consultée le 15 mars 2023) : site de la Red List of IUCN [en ligne].

Adresse URL : <http://www.iucnredlist.org>

[28] ITIS (page consultée le 12 mars 2023) : site du Système d'Information Taxonomique Intégrée [en ligne]

Adresse URL : <https://www.itis.gov/>

[29] JANSEN, W.L., NIJBOER, J.

Zoo Animal Nutrition : Tables and Guidelines. First edition. European Zoo and Nutrition Center, 2003

[30] JOHNSON, C.A.

Reproductive medicine of companion marsupials.

The Veterinary Clinics : Exotic Animal Practice, 2002.

[31] JOHNSON-DELANEY, C.A. Medical Problems of Pet Wallabies.

Exotic Pet Practice, December 2000

[32] Kilgallon, Conor P, Beth Bicknese, and David A Fagan. "Successful Treatment of Chronic Periapical Osteomyelitis in a Parma Wallaby (*Macropus Parma*) Using Comprehensive Endodontic Therapy with Apicoectomy." *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 41.4 (2010): 703-09. Web.

[33] KRAM, R., DAWSON, T.J.

Energetics and biomechanics of locomotion by red kangaroos (*Macropus rufus*). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*, 1998

[34] LECOINTRE, G., LE GUYADER, H. Classification phylogénétique du vivant. France : édition Belin, 2001

[35] LEIGHTON, F.A.

Fusobacterium necrophorum infection. In: WILLIAMS, E.S., BARKER, I.K.

Infectious Diseases of Wild Mammals.

Iowa : Iowa State University Press, 2001

[36] LEMON, M., BAILEY, L.F.

A specific protein difference in the milk from two mammary glands of a red kangaroo.

Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science, 1966

[37] LEMON, M., BARKER, S.

Changes in milk composition of the red kangaroo, *Megalei rufa* (Desmaret), during lactation.

Australian Journal of Experimental Biology and Medical Science, 1967

[38] LEWIS, J.C.M., FITZGERALD, A.J., GULLAND, F.M.D., HAWKEY, C.M., KERTESZ, P.,

KIRKWOOD, J.K., KOCK, R.A.

Observations on the treatment of necrobacillosis in wallabies.
British Veterinary Journal, July-August 1989

[39] LOUDON, A.S.I., BRINKLOW, B.R.

Melatonin implants prevent the onset of seasonal quiescence and suppress the release of prolactin in response to a dopamine antagonist in the Bennett's wallaby (*Macropus rufogriseus*).
Journal of Reproduction and Fertility, 1990

[40] MACDONALD, D., BARRET, P.

Guide complet des Mammifères de France et d'Europe. Lonay, Suisse : Delachaux et Niestlé, 1995

[41] McCullough, Dale R. and McCullough, Yvette (2000) Kangaroos in Outback Australia, Columbia University Press. ISBN 0-231-11916-X.

[42] McKENZIE, S., DEANE, E.M., BURNETT, L.

Are serum cortisol levels a reliable indicator of wellbeing in the tammar wallaby, *Macropus eugenii*?
Comparative Biochemistry and Physiology, Part A, July 2004

[43] McKENZIE, S., DEANE, E.M.

Faecal corticosteroid levels as an indicator of well-being in the tammar wallaby, *Macropus eugenii*
Comparative biochemistry and physiology, Part A, January 2005

[44] Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté Alimentaire : site internet

Adresse URL : <https://agriculture.gouv.fr/>

[45] MOBERG, G.P.

Problems in defining stress and distress in animals.

Journal of the American Veterinary Medical Association, November 1987

[46] MOLINIA, F.C., RODGER, J.C.

Pellet-freezing Spermatozoa of Two Marsupials: the Tammar Wallaby, *Macropus eugenii*, and the Brushtail Possum, *Trichosurus vulpecula*.
Reproduction, Fertility and Development, 1996

[47] MORTON, D.J., ANDERSON, E., FOGGIN, C.M., KOCK, M.D., TIRAN, E.P. Plasma cortisol as an indicator of stress due to capture and translocation in wildlife species. The Veterinary Record, January 1995

[48] MUTHS, E., HINDS, L.A.

Circulating levels of prolactin and progesterone in a wild population of red kangaroos (*Macropus rufus*)
Marsupalia: Macropodidae.
General and Comparative Endocrinology, 1996

[49] NICHOLAS, K.R., FISHER, J.A., MUTHS, E., TROTT, J., JANSSENS, P.A., REICH, C., SHAW, D.C.

Secretion of whey acidic protein and cystatin is down regulated at mid-lactation in the red- kangaroo (*Macropus rufus*).
Comparative Biochemistry and Physiology, Part A, 2001

- [50] NOWAK, R.M., PARADISO, J.L. Walker's Mammals of the World. 4th edition.
Baltimore and London : The Johns Hopkins University Press, 1983.
- [51] OFTEDAL, O.T., BAER, D.J., ALLEN, M.J. The Feeding and Nutrition of Herbivores.
In: KLEIMAN D.G., ALLEN M.E., THOMPSON K.V., LUMPKIN S.
Wild Mammals in Captivity.
Chicago : The university of Chicago Press, 1996
- [52] OLIPHANT, J.C., PARSONS, R., SMITH, G.R. Aetiological agents of necrobacillosis in captive wallabies. Research in Veterinary Science, May 1984
- [53] OLIVET-COURTOIS, F., LECU, A. Nutrition du wallaby.
La Dépêche vétérinaire : supplément technique, Février 2003
- [54] PASS, M.A., BROWN, A.S.
Liver function in normal koalas and macropods.
Australian Veterinary Journal, April 1990
- [55] PETRIC, M., MIDDLETON, P.J., RAPLEY, W.A., MEHREN, K.G., GRANT, C. A Survey of Zoo Mammals for Antibody to Rotavirus.
Canadian Journal of Comparative Medicine, July 1981
- [56] POOLE, W.E. Australian marsupials. In: TREVOR POOLE
The UFAW handbook on management of laboratory animals. Bath : Longman, 1987
- [57] PYE, G.W. Marsupial, Insectivore, and Chiropteran Anesthesia.
The Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice, January 2001, 4, 211-237.
- [58] Rendle, Jessica, Lian Yeap, Bethany Jackson, Kristin Warren, Samantha J Ward, Rebecca Donaldson, Chris Mayberry, Jennifer Richardson, and Rebecca Vaughan-Higgins.
A Retrospective Study of Macropod Periodontal Disease ("Lumpy Jaw") in Captive Macropods across Australia and Europe : Using Data from the Past to Inform Future Macropods Management. *Animals*, 2020, 10 (11)
- [59] RENFREE, M.B., SHAW, G.
Reproduction of a marsupial: From uterus to pouch.
Animal Reproduction Science, 1996
- [60] RICHARDSON, K.C., WYBURN, R.S.
Electromyographic events in the stomach and small intestine of a small kangaroo, the tammar wallaby (*Macropus eugenii*).
Journal of Physiologie, 1983
- [61] RUDD, C.D., SHORT, R.V., SHAW, G., RENFREE, M.B.
Testosterone control of male-type sexual behavior in the tammar wallaby (*Macropus eugenii*).
Hormones and behavior, 1996
- [62] SAMUEL, J.L.

Jaw disease in macropod marsupials: bacterial flora isolated from lesions and from the mouths of affected animals.

Veterinary Microbiology, August 1983

[63] SMITH, G.R., OLIPHANT, J.C., PARSONS, R.

The pathogenic properties of *Fusobacterium* and *Bacteroides* species from wallabies and other sources.

Journal of Hygiene, April 1984

[64] SMITH, G.R., WALLACE, L.M., NOAKES, D.E. Experimental observations on the pathogenesis of necrobacillosis. *Epidemiology and Infection*, 1990

[65] SMITH, G.R., THORNTON, E.A.

The prevalence of *Fusobacterium necrophorum* biovar A in animal faeces.

Epidemiology and Infection, 1993

[66] SMITH, G.R., TURNER, A., CINDEREY, R. Susceptibility of wallabies to *Fusobacterium necrophorum*. *The Veterinary Record*, June 1986

[67] SUEDMEYER, W.K.

Hemimandibulectomy to resolve *Actinomyces* sp. "lumpy jaw" in a Bennett's wallaby (*Macropus rufogriseus fruticus*).

In : Proceedings of American Association of Zoo Veterinarians. Columbus, United States of America : October 9-14, 1999

[68] WHITFIELD, P., WALKER, R. *Le Grand Livre des Animaux*.

Paris : édition Solar, 1998

[69] WHITTINGTON, R.J., JAKOB-HOFF, R.M., HUME, I.D., BARBOZA, P.S., BEVERIDGE, I. Monotremes and marsupials In: FOWLER, M.E.

Zoo and wild animal medicine. Current therapy. 3rd edition. Denver: Saunders Company, 1993

[70] WILSON, REEDER.

Mammal Species of the World : A Taxonomic and Geographic Reference, 2005

[71] WILSON, P., TAYLOR, M.R.H., KEANE, C.T., ENGLISH, L., ALLEN, M. Metronidazole in the treatment of lumpy-jaw in a Bennett's wallaby.

The Veterinary Record, August 1980, 107, 5, 111-112.

[72] ZIMS by Species360 : site internet

Annexes

Annexe A : composition analytique détaillée des granulés Kasper® spécial Macropodes

NUTRIMENTS PRINCIPAUX	
Protéines brutes	17 %
Matières grasses brutes	3 %
Cellulose brute	11.40 %
Cendres brutes	7.80 %
Humidité	9 %
NDF	30.40 %
ADF	14.90 %
ADL	3.20 %
Amidon	23.80 %
NFE	51.50 %

MINERAUX	
Calcium	0.90 %
Phosphore	0.50 %
Sodium	0.50 %
Potassium	1.02 %
Magnésium	0.17 %

OLIGO-ELEMENTS	
Fer	200 mg/kg
Cuivre	16 mg/kg
Manganèse	43.40 mg/kg
Zinc	35 mg/kg
Cobalt	0.25 mg/kg
Iode	0.21 mg/kg
Sélénium	0.20 mg/kg

ACIDES AMINES	
Arginine	9.50 g/kg
Lysine	7.80 g/kg
Méthionine	2.60 g/kg
Cystine	3.10 g/kg
Tryptophane	2 g/kg
Threonine	6.10 g/kg

VITAMINES ¹	
Vitamine A	17600 UI
Vitamine D3	3360 Ui
Vitamine E	300 mg/kg
Ménadione (K3)	52 mg/kg
Thiamine (B1)	30 mg/kg
Riboflavine (B2)	13 mg/kg
Acide nicotinique (B3)	53 mg/kg
Acide pantothénique (B5)	27 mg/kg
Pyridoxine (B6)	10 mg/kg
Biotine (B8)	0.34 mg/kg
Acide folique (B9)	6.90 mg/kg
Cobalamine (B12)	0.05 mg/kg

ENERGIE	
Energie brute	16.30 MJ/kg
Energie métabolisable ²	9.60 MJ/kg

Annexe B : Questionnaire à destination des parcs zoologiques européens hébergeant des kangourous roux

About your zoo



In which country are you ?

Tapez votre texte ici



What is the name of the zoo you work in ?

Tapez votre texte ici

About your *Macropus rufus*

(*Macropus rufus*) When did you start to keep this species ?

How many *Macropus rufus* have you got in captivity currently ?

How many animals do you keep per enclosure (on average) ?

Are your outside enclosures equipped with :

Other :

What is the size of the enclosure (sqm) ?

What type of substrate do they have access to ? (concrete, natural ground, grass, sand, ...)

Tapez votre texte ici

In which frequency is the substrate cleaned ?

Tapez votre texte ici

Is it a walking-through enclosure ? (open to visitors)

Yes

No

Is the enclosure shared by other species ? (Macropods and other)

Yes

No

If so, what other species are there ?

Tapez votre texte ici

How many animals of these other species are there per enclosure (on average) ?

About the housing

Do your animals have access to indoor areas ?

Yes

No

What is the size of the indoor areas for your *Macropus rufus* ? (sqm)

Tapez votre texte ici

How many boxes are there for your *Macropus rufus* ?

What type of substrate for your *Macropus rufus* ? (concrete, rubber mat/floor, ...)

Tapez votre texte ici

What kind of bedding do you add for your *Macropus rufus* ? (straw, wood barks, sand, ...)

Tapez votre texte ici

The inside temperature for your *Macropus rufus* is set to :

Do they have h24 access to inside areas ?

Yes

No

If not, what are the reasons/conditions ?

Tapez votre texte ici

About the feeding

Do your animals have access to naturally-growing grass and trees in the enclosure ?

Yes

No

The food offered to the Macropods include :

Grass

Luzern Hay

Grass hay

Pellets

Fruits

Vegetables

Grain

Browses

Other

Other :

Do you supplement them ? If so, with what ?

Please feel free to email me your diet sheets at : william.vezinet_18@envt.fr

● **How is the food distributed ?**

Other :

● **In which frequency are the feeders cleaned ?**

About the Macropods health

In which type of groups are kept your *Macropus rufus* ?

in bachelor groups

in reproductive groups

In reproductive groups, how many are there of breeding males and castrated males ?

Tapez votre texte ici

Do you have a lumpy-jaw history in your population ?

Yes

No

Over the last 10 years, how many Macropods have you kept ?

Over the last 10 years, how many breeding males were affected by lumpy-jaw ?

Over the last 10 years, how many castrated males were affected by lumpy-jaw ?

Over the last 10 years, how many females were affected by lumpy-jaw ?

What is the average age of affected individuals ? (=age when first symptoms appear)
(years)

What is the redundancy rate ? (proportions of animals that were affected once more after being cured)

What is the mortality rate ?

● In case of Lumpy-jaw, do you use these complementary exams ?

X-ray exams

Scan

MRI

Bacterial culture

None

Other

Other :

● What kind of bacteria did you find ?

Tapez votre texte ici

● In case of Lumpy-jaw, what is your treatment procedure ?

Antibiotics

Surgery

AIPMMA

Vaccine

None

Other

Other :

•
Have you ever decided to empty your enclosure after an outbreak of lumpy-jaw?

Yes

No

•
What kind of surgical procedures do you do ?

Tapez votre texte ici

•
What classes of antibiotics do you use ? Which dosage and for how long ?

Tapez votre texte ici

•
Do you feel like the sex-ratio has an impact on lumpy-jaw occurence ?

Yes

No

•
How so ?

Tapez votre texte ici

•
If a procedure to make your own autovaccine was available, would you be inclined to use it to treat your animals ?

Yes

No

Which criteria would be most important for you if such a solution was possible ?

Easy to use

Economical

High efficiency

Few side effects

Quick immunity

No booster needed

Painless to the animals

Drag and drop your answers here, and rank them

What other pathologies are a concern to you regarding your Macropods population ?

Tapez votre texte ici

Titre :

Etude de la nécrobacillose chez *Osphranter rufus* et *Notamacropus rufogriseus* en captivité

Résumé :

Le maintien en captivité d'espèces sauvages est intrinsèquement lié à la problématique du bien-être animal. L'impossibilité de reproduire parfaitement le milieu naturel des espèces concernées résulte souvent en l'apparition de troubles et affections qui sont rares voire inexistantes à l'état sauvage. Les macropodes des genres *Osphranter* et *Notamacropus* n'échappent pas à la règle : la nécrobacillose, infection due majoritairement à *Fusobacterium necrophorum*, constitue aujourd'hui l'affection la plus fréquente chez ces espèces en captivité, ainsi que la 1^{ère} cause de leur décès, tandis que les cas rapportés dans les populations sauvages sont sporadiques. Les conditions zootechniques d'élevages doivent donc être optimisées afin d'en limiter l'incidence. Logement, nourriture, environnement, constitution des groupes (...) constituent des facteurs importants qui peuvent influencer la prévalence de la maladie. Un bilan des cas rencontrés au CERZA de Lisieux et en une enquête auprès des parcs zoologiques européens hébergeant ces espèces ont eu pour but de déterminer les facteurs-clés de lutte contre la nécrobacillose.

Mots-clés :

Osphranter, *Notamacropus*, kangourou, wallaby, captivité, facteurs zootechniques, nécrobacillose, lumpy-jaw

Title:

Study on lumpy-jaw in *Macropus rufus* and *Macropus rufogriseus* in captivity

Abstract:

Breeding wild species in captivity is intrinsically linked to the issue of animal welfare. The impossibility of perfectly simulating the natural environment of the concerned species often results in the appearance of disorders and pathologies that are rare or even non-existent in nature. Macropods of the *Osphranter* and *Notamacropus* genus are no exception to the rule: Necrobacillosis, an infection mainly caused by *Fusobacterium necrophorum*, is the most frequent affection of these species in captivity, as well as the 1st cause for their death; while reported cases in wild populations are sporadic. The zootechnical conditions of breeding must therefore be optimized in order to limit the incidence of this pathology. Housing, food, environment, constitution of groups (...) constitute important factors which can influence the rate of individuals affected. An assessment of the cases encountered at the CERZA in Lisieux and a survey of European centers housing these species were aimed to determine the key factors in the fight against necrobacillosis.

Key words:

Osphranter, *Notamacropus*, kangaroo, wallaby, captivity, zootechnical factors, lumpy-jaw