

Université de Montréal

Évaluation de la distribution et de la viabilité des caméléons en milieu zoologique
Analyse des causes de mortalité principales des Chamaeleonidae : 2011-2024

Par

Amélie Aduriz

Département des sciences cliniques

Faculté de médecine vétérinaire

Mémoire présenté à la Faculté de médecine vétérinaire
en vue de l'obtention du grade de *Maîtrise ès sciences* (M. Sc.)
en sciences vétérinaires, option sciences cliniques

Juillet 2023

© Amélie Aduriz, 2023

Université de Montréal
Département des sciences cliniques, Faculté de médecine vétérinaire

Ce mémoire intitulé

Évaluation de la distribution et de la viabilité des caméléons en milieu zoologique
Analyse des causes de mortalité principales des Chamaeleonidae : 2011-2024

Présenté par

Amélie Aduriz

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Marion Desmarchelier

Présidente-rapporteuse

Claire Vergneau-Grosset

Directrice de recherche

Stéphane Lair

Codirecteur

Isabelle Lanthier

Membre du jury

RÉSUMÉ

Parmi les 202 espèces de caméléons, 38,6% sont menacées d'extinction. Actuellement, près de 1000 caméléons sont gardés en institutions zoologiques mondialement. Les objectifs de cette étude étaient d'évaluer la distribution des espèces et des sexes, le statut reproducteur, l'espérance de vie et les principales causes de mortalité des caméléons en zoo afin d'aider la recherche et favoriser la conservation de ces espèces. Une analyse de la distribution actuelle des caméléons a été faite en utilisant le Zoological Information Management Software (ZIMS) de Species360, et l'espérance de vie de sept espèces de caméléons a été estimée par des analyses bayésiennes de trajectoire de survie^a. Un sondage a été envoyé à 245 institutions zoologiques, et des rapports de nécropsie des dix dernières années ont été collectés. Les causes de mortalité et la prévalence des lésions rénales ont été colligées. Présentement, 17,8% (36/202) des espèces de la famille des Chamaeleonidae sont représentées dans ZIMS, incluant 14,1% (11/78) des espèces menacées selon la classification de l'Union internationale pour la conservation de la nature (IUCN). Les mâles se sont avérés plus fréquents que les femelles en prenant en compte 36 espèces, 203 zoos, et 6 continents. Parmi les institutions participantes (65/245 contactées), 50,8% ont rapporté des naissances viables, incluant 12,3% dans les 12 derniers mois. Cinq espèces de caméléons (*Calumma parsonii*, *Chamaeleo chamaeleon*, *Furcifer oustaleti*, *Trioceros jacksonii*, *Trioceros melleri*) n'ont montré aucune différence d'espérance de vie selon le sexe. Les mâles caméléons panthères (*Furcifer pardalis*) et caméléons casqués du Yémen (*Chamaeleo calyptratus*) ont montré un avantage de survie significatif par rapport aux femelles de la même espèce. Les principales causes de mortalité chez 14 espèces (n = 412) étaient d'origine infectieuse (46,8%), rénale (11,4%) ou reproductrice (10,7%), et 41,7% des individus étudiés montraient des lésions rénales à la nécropsie. Les résultats de ce projet justifient des études sur les maladies infectieuses et rénales des caméléons, et suggèrent la nécessité d'élaborer un plan de survie des espèces pour les Chamaeleonidae.

Mots-clés : captivité, espérance de vie, lézard, mortalité, maladie rénale, reproduction, reptile, zoo

^a Bayesian Survival Trajectory Analyses (BaSTA)

ABSTRACT

Of the 202 species of Chamaeleonidae, 38.6% are globally threatened. Currently, nearly 1000 individual chameleons are kept in zoological institutions worldwide. The objectives of this study were to assess species and sex distribution, reproductive status, life expectancy, and main mortality causes of chameleons in zoos to aid research and support conservation efforts. Using Species360's Zoological Information Management Software (ZIMS), an analysis of the current species and sex distribution was conducted, and an estimate of life expectancy for seven species of chameleons was performed using Bayesian Survival Trajectory Analyses (BaSTA). An online survey was sent to 245 zoological institutions, and necropsy reports of the last ten years were collected. Mortality causes and prevalence of renal lesions were recorded. Presently, 17.8% (36/202) of Chamaeleonidae species are represented in ZIMS, including 14.1% (11/78) of threatened species. Males were more common than females when considering 36 species, 203 zoos, and 6 continents. Among participating institutions (65/245), 50.8% reported viable chameleon births, including 12.3% within the last 12 months. Five species of chameleons (*Calumma parsonii*, *Chamaeleo chamaeleon*, *Furcifer oustaleti*, *Trioceros jacksonii*, *Trioceros melleri*) showed no sex differences in life expectancy. Panther chameleons (*Furcifer pardalis*) and veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*) displayed a significant male survival advantage. The main mortality causes in 14 species (n = 412) were infectious (46.8%), renal (11.4%), or reproductive (10.7%) diseases, and 41.7% of the studied individuals displayed renal lesions at necropsy. The results of this study warrant further investigation and suggest the need to develop a Species Survival Plan for Chamaeleonidae.

Keywords: captivity, life expectancy, lizard, mortality, renal disease, reproduction, reptile, zoo

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	3
ABSTRACT	4
TABLE DES MATIÈRES	5
LISTE DES TABLEAUX	7
LISTE DES FIGURES	8
LISTES DES FIGURES SUPPLÉMENTAIRES	8
LISTE DES SIGNES ET ABRÉVIATIONS	9
REMERCIEMENTS	10
INTRODUCTION	11
CHAPITRE 1 – REVUE DE LITTÉRATURE	13
1. Physiologie des caméléons	13
1.1 Nutrition et abreuvement	13
1.1.1 Alimentation.....	13
1.1.2 Abreuvement	15
1.2 Reproduction	15
1.2.1 Notions de base	15
1.2.2 Méthodes diagnostiques	16
1.2.3 Œufs et juvéniles	18
2. Maladies courantes chez les caméléons.....	22
2.1 Insuffisance rénale.....	22
2.2 Hyperparathyroïdie secondaire d’origine nutritionnelle.....	23
2.3 Hypovitaminose A	25
2.4 Hypervitaminose A.....	26
2.5 Rétention d’œufs.....	27
2.6 Gingivite	28
2.7 Stomatite	29
2.8 Mycoses	30
2.9 Septicémies bactériennes	31
2.10 Parasitoses	32
2.11 Néoplasmes.....	33
3. Conclusion	34

CHAPITRE 2 – PROJET DE MAÎTRISE : MÉTHODES ET RÉSULTATS	35
1. Matériel et méthode	35
1.1 Évaluation des données issues de ZIMS.....	35
1.2 Sondage en ligne.....	36
1.3 Accès aux dossiers médicaux	37
2. Distribution	38
2.1 Distribution des institutions.....	38
2.2 Distribution des espèces	39
2.3 Distribution des sexes.....	40
3. Espérance de vie	41
4. Reproduction.....	44
5. Régie	45
5.1 Conditions environnementales	45
5.1.1 Habitats.....	45
5.1.2 Cohabitation	46
5.1.3 Hygrométrie et température	46
5.2 Alimentation et suppléments	47
5.2.1 Abreuvement	47
5.2.2 Alimentation.....	48
5.2.3 Supplémentation.....	48
6. Causes de mortalité (sondage en ligne)	50
CHAPITRE 3 – ARTICLE SCIENTIFIQUE	52
1. Abstract.....	53
2. Introduction.....	54
3. Materials and methods	55
4. Results.....	57
4.1 Response rate.....	57
4.2 <i>Post mortem</i> tests.....	58
4.3 Mortality causes.....	59
4.4 Association between husbandry parameters and renal disease prevalence	60
5. Discussion	61
6. Conclusions.....	64
7. Acknowledgments.....	65
8. Tables and figures.....	66
CHAPITRE 4 - DISCUSSION.....	77
CONCLUSION	86
BIBLIOGRAPHIE.....	87

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Distribution géographique des caméléons gardés dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS (juillet 2021)	38
Tableau 2. Distribution des institutions et taux de participation au sondage en ligne et au partage de rapports de nécropsie.....	38
Tableau 3. Distribution des espèces de caméléons gardés dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS selon leur statut de conservation (juillet 2021)	40
Tableau 4. Espérance de vie moyenne à la naissance de 11 espèces de caméléons	41
Tableau 5. Espérance de vie moyenne et longévité atteinte par 5% des individus les plus âgés selon le sexe de sept espèces de caméléons	42
Tableau 6. Données de reproduction de 65 institutions zoologiques	45
Tableau 7. Types d'habitats utilisés par 61 institutions zoologiques pour la garde en captivité de leurs caméléons entre 2021 et 2022	45
Tableau 8. Types de cohabitation employés par 61 institutions zoologiques pour la garde en captivité de leurs caméléons entre 2021 et 2022	46
Tableau 9. Méthodes d'humidification de l'environnement et d'abreuvement utilisées par 58 institutions zoologiques pour la garde en captivité de leurs caméléons entre 2021 et 2022 ...	47
Tableau 10. Types de proie utilisés par 57 institutions zoologiques pour l'alimentation de leurs caméléons entre 2021 et 2022.....	48
Tableau 11. Méthodes de supplémentation de la diète des caméléons utilisées par 58 institutions zoologiques entre 2021 et 2022	49
Table 12. Response rate of ZIMS registered zoological institutions housing chameleons by geographical location	66
Table 13. Distribution of identified infectious agents incriminated in the death of 83 zoo-housed chameleons from 2011 to 2022.....	67
Table 14. Distribution of significant lesions of the urinary tract in 47 cases of renal-related deaths of zoo-housed chameleons from 2011 to 2022	68

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Distribution par espèce des caméléons gardés dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS (juillet 2021)	39
Figure 2. Distribution des sexes de l'ensemble des espèces de caméléons gardées dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS (juillet 2021)	40
Figure 3. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons de Parson (<i>Calumma parsonii</i>)	43
Figure 4. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons casqués du Yémen (<i>Chamaeleo calyptratus</i>)	43
Figure 5. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons communs (<i>Chamaeleo chamaeleon</i>)	43
Figure 6. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons géants de Madagascar (<i>Furcifer oustaleti</i>)	43
Figure 7. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons panthères (<i>Furcifer pardalis</i>).....	43
Figure 8. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons de Jackson (<i>Trioceros jacksonii</i>) .	43
Figure 9. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons de Meller (<i>Trioceros melleri</i>).....	43
Figure 10. Reproduction des espèces de caméléons gardées dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS (juillet 2021)	44
Figure 11. Causes of mortality of 412 zoo-housed chameleons from 2011 to 2022	69
Figure 12. Prevalence of chameleon <i>post mortem</i> renal lesions in 18 zoos depending on the mean hygrometry of the geographic area of the zoo between 2011 and 2022	70

LISTES DES FIGURES SUPPLÉMENTAIRES

Supplemental Figure 1. Survey sent to 245 zoos regarding the husbandry of chameleons in their institution	71
Supplemental Figure 2. Species distribution of the 412 zoo-housed chameleons included in the study	76

LISTE DES SIGNES ET ABRÉVIATIONS

AZA	Association of Zoos and Aquariums
BaSTA	Bayesian Survival Trajectory Analyses
CITES	Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora
CRSNG	Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada
IC95%	Intervalle de confiance à 95%
IUCN	International Union for Conservation of Nature
NSERC	Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada
PCR	Réaction en chaîne par polymérase
SSP	Species Survival Plan
UVB	Rayons ultraviolets B
ZIMS	Zoological Information Management Software

REMERCIEMENTS

Je remercie sincèrement ma directrice de recherche, Dre Claire Vergneau-Grosset, pour sa confiance et son soutien inégalés depuis le début de ma maîtrise. Je la remercie également pour son enthousiasme envers les retombées de tous les projets qu'elle mène avec des étudiants, au travers duquel elle a su me partager sa passion pour les caméléons, la médecine des reptiles et la recherche scientifique.

J'aimerais également remercier Johanna Staerk, Dalia A. Conde et Floriane Plard de l'équipe de Species360 pour leur intérêt palpable envers le développement des connaissances sur la biologie d'innombrables espèces, et pour leur apport considérable et déterminant dans ce projet.

Merci à Dre Isabelle Lanthier et Dr Stéphane Lair, les membres de mon comité-conseil, pour leurs contributions ayant permis de faire avancer ce projet, et pour leurs conseils judicieux ayant trait à la pathologie.

Merci également à Dre Marion Desmarchelier d'avoir accepté de faire partie de mon jury de maîtrise.

Je remercie infiniment tous les vétérinaires, conservateur.trice.s, technicien.ne.s et employé.e.s des institutions zoologiques ayant participé à ce projet en nous fournissant des informations indispensables, sans lesquelles ce projet n'aurait jamais pu avoir lieu.

Je remercie le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) pour le financement de ce projet. Merci également à l'équipe du ExoticsCon 2023 et du ICARE 2024 d'avoir montré de l'intérêt envers les résultats de ma recherche, et de m'avoir permis de les partager à la communauté scientifique et vétérinaire en congrès.

Finalement, j'aimerais remercier ma famille et mes ami.e.s pour leur soutien et leurs encouragements depuis le début de mon cheminement académique.

INTRODUCTION

Les caméléons sont des reptiles provenant principalement d'Afrique subsaharienne ou de l'île de Madagascar. En date d'aujourd'hui, 202 espèces de caméléons ont été identifiées, et plus de la moitié sont malgaches.⁸⁷ Des menaces environnementales et anthropogéniques, notamment le réchauffement climatique et la destruction des habitats, ont mené au statut de « menacé » près de 50 % des espèces malgaches de caméléons.¹⁰⁹ Pour remédier à cette situation alarmante, plusieurs espèces de caméléons ont été inscrites aux annexes de la CITES (*Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora*),⁴³ limitant ainsi l'exploitation et le commerce de ces reptiles. Plusieurs programmes de reproduction ont également été établis dans des institutions zoologiques à travers le monde afin d'assurer la pérennité de certaines espèces de caméléons.^{17,190}

Actuellement, aucun portrait global des populations de caméléons gardées en institutions zoologiques au niveau mondial n'est disponible dans la littérature, et aucune étude des causes principales de mortalité de ces espèces n'a encore été réalisée. Il n'existe donc, à ce jour, aucune analyse de la viabilité des caméléons en milieu zoologique. Le présent projet vise ultimement à formuler des recommandations quant à la garde en captivité des caméléons, tout en permettant d'approfondir les connaissances scientifiques au sujet des conditions pathologiques affectant ces lézards. De plus, en établissant la distribution des caméléons en fonction de leur sexe et de leur espèce, et en évaluant les succès de reproduction des zoos, ce projet vise à formuler des pistes de réflexion au sujet de la durabilité de la garde en captivité de ces espèces en institutions zoologiques.

Les objectifs de la présente étude étaient donc de déterminer la distribution des sexes et des espèces de caméléons gardés en institutions zoologiques à travers le monde, et d'évaluer le statut reproducteur, l'espérance de vie selon le sexe, et les causes de mortalités principales de ces lézards. Un objectif secondaire était d'identifier certains facteurs de risque de maladie rénale chez les caméléons gardés en institutions zoologiques. À la connaissance des auteurs, ce projet est le plus exhaustif réalisé au sujet des populations de caméléons dans les zoos à ce jour. Selon l'Association of Zoos and Aquariums (AZA), il existe plus de 10 000 zoos en 2023, dont 238 sont accrédités de l'AZA.^{11,83} De ces 10 000 zoos, plus de 1200 sont membres de Species360 et utilisent la plateforme ZIMS (Zoological Information Management System, Species360, Minneapolis, MN 55425, USA)²¹¹ pour la gestion de leurs collections animales. Cette base de données commerciale,

disponible en ligne à travers le monde dans cinq langues (anglais, espagnol, français, japonais et russe) depuis 1974, a été une ressource principale dans la réalisation des objectifs du présent projet.

Les hypothèses principales reliées à ce projet de recherche étaient que :

1. Les caméléons les plus esthétiquement attractifs (mâles, espèces de grande taille, espèces très colorées, etc.) seraient gardés en plus grand nombre, quel que soit le continent.
2. De nombreuses espèces seraient reproduites en milieu zoologique, et la reproduction serait pratiquée dans plus de 50% des institutions.
3. L'espérance de vie des caméléons serait variable selon le sexe et l'espèce.
4. Des lésions rénales seraient observées chez la majorité des caméléons via les rapports de nécropsie et les tests diagnostiques *ante mortem*.
5. Les principales causes de mortalité seraient d'origine rénale ou reproductrice.

Le premier chapitre de ce mémoire de maîtrise est consacré à une revue de la littérature. Cette section aborde d'abord la physiologie des caméléons, incluant la nutrition, l'abreuvement et la reproduction, afin de mettre en lumière certaines des caractéristiques propres aux caméléons pouvant affecter leur santé. Ensuite, la pathophysiologie de base des principales maladies courantes des caméléons est présentée afin d'introduire les chapitres subséquents de ce mémoire, concernant notamment les liens entre les résultats de nécropsie et l'environnement captif.

Le second chapitre de ce mémoire est consacré à la méthodologie et aux résultats des sections sur la distribution des espèces et des sexes, la reproduction, l'espérance de vie, la régie et les causes de mortalité issues du sondage en ligne. La méthodologie et les résultats concernant les causes de mortalité des caméléons issues des rapports de nécropsie sont inclus sous forme d'un article scientifique au Chapitre 3. Finalement, le Chapitre 4 contient une discussion approfondie des résultats du projet de recherche, et inclut des recommandations sur les modèles de garde en captivité des caméléons, ainsi que des propositions de futurs travaux de recherche sur ces espèces.

Remarque : Pour l'entièreté de ce mémoire, les termes « institutions zoologiques », « milieux zoologiques », et « zoos et aquariums » seront généralement simplifiés au terme « zoos », ou utilisés à titre de synonymes. Lorsque non précisée, l'évaluation des caméléons au niveau mondial correspond aux données disponibles dans la base de données ZIMS.

CHAPITRE 1 – REVUE DE LITTÉRATURE

1. Physiologie des caméléons

Les caméléons sont des reptiles ectothermes et tropicaux dont les paramètres physiologiques varient selon les conditions environnementales, en particulier la température. Les prochaines sections de ce document aborderont certaines caractéristiques physiologiques uniques des caméléons, notamment en ce qui a trait à leur nutrition et leur reproduction, dans le but d'introduire quelques-unes des particularités de ces espèces pouvant affecter leur état de santé.

1.1 Nutrition et abreuvement

Afin de favoriser le bien-être des caméléons sous garde humaine, une bonne connaissance de leur diète naturelle et de leurs modes d'alimentation et d'abreuvement est essentielle. Les prochaines sections aborderont brièvement ces sujets à titre d'introduction aux conditions pathologiques qui seront discutées à la Section 2.

1.1.1 Alimentation

En nature, les caméléons consacrent une partie considérable de leur journée à la recherche d'aliments et de proies (« *foraging* »).³ Contrairement à certaines espèces de reptiles qui demeurent immobiles en attente qu'une proie se trouve à leur proximité (« *ambush predator* »), et à d'autres espèces qui procèdent à une chasse active des proies (« *active foraging* »), les caméléons ont un comportement d'alimentation intermédiaire. Ceux-ci tendent à se déplacer de courtes distances, à très lente vitesse, et à s'immobiliser régulièrement pour examiner leur environnement. Les études à ce sujet suggèrent que les caméléons font donc partie des « *cruise foragers* ». ^{30,91}

Bien que la plupart des caméléons soient principalement insectivores, certaines espèces, notamment les caméléons casqués du Yémen (*Chamaeleo calyptratus*), les caméléons communs (*Chamaeleo chamaeleon*), et occasionnellement les caméléons géants de Madagascar (*Furcifer oustaleti*), peuvent également s'alimenter de feuillages et de fruits.^{114,161,220} En nature, l'alimentation des caméléons est très variée, mais demeure majoritairement composée d'arthropodes.^{3,122} Parmi les proies les plus fréquemment consommées par les Chamaeleonidae sauvages se retrouvent des diptères, des hyménoptères, des orthoptères et des coléoptères.^{122,178} Les araignées, les mollusques, les oisillons, les souris et les petits reptiles sont également des proies occasionnelles des caméléons.^{99,152,182} Des différences inter-espèces sont rapportées quant aux

choix des proies en milieu naturel.^{122,152} La diète des caméléons sauvages varie également en fonction de la disponibilité des proies et des saisons.²²⁷ En captivité, des proies d'élevages d'ordres taxonomiques similaires sont fréquemment incluses dans les diètes de Chamaeleonidae, notamment les grillons (*Acheta domestica*, *Gryllus* spp.) et criquets (*Locusta migratoria*, *Schistocerca gregaria*), les blattes (*Nauphoeta cinerea*, *Blabera fusca*, *Gromphadorrhina portentosa*) et les larves (*Tenebrio molitor*, *Zoophobas morio*, *Bombyx mori*, *Manduca sexta*). Les mouches (*Musca domestica*, *Drosophila funebris*, *Drosophila melanogaster*) peuvent également être données aux caméléons juvéniles.¹¹⁴

Les caméléons capturent leurs proies à l'aide de leur langue et de leur appareil hyolingual par un processus complexe se déroulant en plusieurs phases (localisation – protrusion – projection – rétraction – consommation).^{114,227} Lors de la phase de projection, la langue d'un caméléon peut être projetée à une distance atteignant jusqu'à deux fois la longueur du corps de l'animal,^{100,227} tandis que l'accélération de la langue pendant la phase de projection a été évaluée à près de 21 km/h.¹⁶¹ Pendant la phase de rétraction, des muscles tirent sur le coussinet lingual situé au bout de la langue des caméléons afin de créer une pression négative permettant de saisir et ramener les proies vers leur cavité orale.^{99,227} Finalement, pendant la phase de consommation, les caméléons tendent à écraser et avaler leurs proies sans les mastiquer.^{114,220} La préhension directe à l'aide des mâchoires a également été rapportée chez certains caméléons, principalement lorsque les proies étaient à proximité et immobiles.^{114,220}

Considérant la faible teneur en vitamines et minéraux de la plupart des proies consommées par les caméléons,¹⁶⁷ le nourrissage des proies (« *gut-loading* ») avant l'alimentation en captivité est recommandé. Parmi les aliments fréquemment offerts aux proies des caméléons se retrouvent les légumes riches en calcium (carotte, brocoli, chou) ou les fruits (orange, melon) favorisant l'apport en caroténoïdes. De plus, un « *gut-loading* » en calcium et en vitamine A peut être recommandé dans les 24 à 48 heures avant la distribution des proies aux caméléons.¹²⁹

En raison des particularités de leur méthode de capture des proies (utilisation principale de la langue) et de leur diète (proies faibles en vitamines et minéraux), les caméléons sont sujets aux conditions pathologiques d'origine alimentaire (trauma empêchant la prise d'aliments) ou nutritive. Les déséquilibres vitaminiques seront notamment abordés plus loin.

1.1.2 Abreuvement

Les caméléons, contrairement à plusieurs reptiles qui peuvent s'abreuver dans des bols d'eau peu profonds, ne boivent pas dans des sources d'eau stagnantes.^{28,114,226} En nature, ces espèces s'abreuvent en lapant des gouttelettes d'eau de pluie ou de rosée perlant sur les feuilles des végétaux de leur environnement. En raison de cette particularité, l'utilisation de bols comme seule source d'eau est inappropriée pour la garde en captivité des *Chamaeleonidae*. Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour reproduire les méthodes d'abreuvement naturelles des caméléons, incluant l'utilisation de systèmes de goutte-à-goutte qui déversent de l'eau sur le feuillage présent dans l'habitat de l'animal, et l'humidification régulière de l'environnement à l'aide de vaporisateurs et brumisateurs.^{54,114,150}

Le maintien de conditions environnementales optimales pour les caméléons sous garde humaine est prioritaire. Les problèmes de régie menant à une déshydratation chronique des caméléons peuvent être à l'origine de problèmes de santé graves, incluant l'insuffisance rénale.

1.2 Reproduction

La reproduction des caméléons est un sujet complexe abordé dans plusieurs études scientifiques. La présente section aborde les informations de base sur la reproduction des caméléons, les méthodes diagnostiques de gestation et les paramètres pouvant influencer le devenir des œufs ou des juvéniles.

1.2.1 Notions de base

La plupart des caméléons sont ovipares, comme plusieurs autres ordres de reptiles. Il existe toutefois plusieurs espèces de caméléons ovovivipares, tel le caméléon de Jackson (*Trioceros jacksonii*). Ceux-ci pondent des œufs dont la membrane est fine et transparente. À l'intérieur se retrouvent des caméléons juvéniles dont le développement est terminé.¹⁰⁵ La fertilisation des femelles se produit de façon interne chez tous les *Chamaeleonidae*. Les caméléons femelles de nombreuses espèces peuvent garder le sperme du mâle à des fins de fécondation différée pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois.^{130,227} Les caméléons sont des animaux polygames et polyandres; un mâle peut s'accoupler avec plus d'une femelle, et les femelles peuvent s'accoupler avec plusieurs mâles, ou plusieurs fois avec le même mâle, pendant une même période de reproduction.^{48,224,227}

La reproduction des caméléons ovipares se déroule en cinq phases : la prévitellogenèse, la vitellogenèse, l'ovulation, la gestation et l'oviposition. La prévitellogenèse est la phase où les ovaires contiennent des follicules primordiaux. Durant la vitellogenèse, il y a croissance rapide des follicules. L'ovulation correspond à l'expulsion des ovocytes de l'ovaire. La gestation est d'une durée variable selon l'espèce, et est suivie par l'oviposition, soit la ponte des œufs.¹⁷⁶ La reproduction et les cycles sexuels des reptiles varient beaucoup selon l'espèce, et peuvent être influencés par des conditions environnementales comme la pluie, la chaleur, la lumière et les ressources disponibles.⁶³ Il en est de même pour la taille des pontes et la viabilité des œufs et des juvéniles. Les temps d'incubation sont aussi extrêmement variables, allant d'une cinquantaine de jours à plus de deux ans chez les plus grandes espèces comme le caméléon de Parson (*Calumma parsonii*). Les paramètres pouvant influencer le temps d'incubation seront discutés plus loin. En milieu naturel, en particulier à Madagascar, la période de reproduction se déroule typiquement de juillet à octobre et fait suite à la saison sèche, qui est plus froide.^{49,118} Chez certaines espèces de caméléons, comme le caméléon de Parson, ces températures plus fraîches sont nécessaires afin de déclencher la reproduction ou synchroniser les cycles des partenaires. Pendant les années plus sèches, la saison de reproduction des caméléons commence plus tard que lors des années plus humides. À ce jour, l'hypothèse principale à ce sujet est que le retard d'oviposition des caméléons lors des saisons sèches est relié à une attente de meilleures conditions environnementales.⁵⁷ Par ailleurs, les plus petites femelles tendent à débiter l'oviposition plus tard que les femelles en meilleur état corporel.^{49,57} Il est suggéré que les jeunes femelles et celles présentant un état corporel bas sont moins courtisées par les mâles que les femelles en bon état corporel, et présentent conséquemment des retards à l'accouplement et l'oviposition.⁴⁹

1.2.2 Méthodes diagnostiques

Plusieurs techniques permettent de faire le suivi reproducteur des caméléons. L'évaluation du comportement, l'imagerie médicale et le suivi hormonal sont trois techniques utilisées en médecine vétérinaire pour l'identification des phases du cycle de reproduction et le diagnostic d'une gestation ou d'une anomalie du système reproducteur chez les reptiles.

1.2.2.1 Comportement

De nombreux comportements peuvent être associés à la reproduction chez les reptiles, notamment une hausse du temps de « *basking* », qui correspond à une augmentation du temps d'exposition à la lumière et la chaleur. Ce comportement n'est toutefois pas spécifique, car on l'observe aussi en

réponse à une carence en vitamine D d'origine alimentaire.⁷⁷ L'anorexie, l'agitation et la présence de comportements typiques, tel creuser dans le substrat pour y faire un nid, sont d'autres manifestations comportementales observables chez les femelles gestantes.^{63,64} Un changement de couleur de la femelle indique sa réceptivité au mâle, ou encore son statut gestant associé à un rejet du mâle.^{46,176} Toutefois, la réceptivité à la copulation n'est pas toujours corrélée à la période du cycle œstral, notamment chez le caméléon casqué du Yémen.¹⁷⁶

1.2.2.2 Imagerie médicale

L'échographie cœlomique et la radiographie sont deux méthodes d'imagerie médicale permettant de préciser un diagnostic préliminaire de gestation chez les caméléons. Ces techniques permettent aussi l'évaluation des follicules ovariens chez la femelle.³⁸ L'utilité de ces procédures dans l'évaluation des conditions pathologiques du système reproducteur sera abordée dans la section sur la rétention d'œufs et la dystocie.

1.2.2.3 Suivi hormonal

Le suivi hormonal représente une méthode peu invasive permettant l'évaluation et le suivi du cycle sexuel des caméléons puisque les hormones reproductrices et leurs métabolites se retrouvent au niveau des fèces. Une étude sur les dosages de l'œstradiol, la progestérone et la testostérone dans des échantillons fécaux a été réalisée afin d'évaluer l'évolution des hormones pendant le cycle reproducteur des caméléons casqués du Yémen.¹⁷⁶ Les résultats de cette étude montrent que la prévitellogenèse est représentée par de bas taux d'hormones sexuelles. La période de croissance folliculaire, soit la vitellogenèse, est associée à une augmentation des niveaux d'œstradiol fécal jusqu'à l'obtention d'un pic, puis à une diminution de l'œstradiol et à une augmentation simultanée de la progestérone. L'ovulation, pour sa part, est immédiatement suivie d'un pic de progestérone. La progestérone demeure ensuite élevée pendant la durée de la gestation, puis diminue avant l'oviposition, comme observé avant la mise-bas chez les mammifères. En outre, les dosages de la testostérone montrent un pic œstrogène-dépendant pendant la vitellogenèse, et une augmentation similaire à celui du pic de progestérone suivant l'ovulation. En absence d'ovulation, les concentrations d'œstradiol diminuent jusqu'aux niveaux basaux de la prévitellogenèse.¹⁷⁶ D'autres études confirment que les dosages immunologiques enzymatiques des hormones stéroïdiennes présentes dans les fèces sont des tests adéquats pour la détection du moment d'ovulation chez un caméléon.¹²⁵⁻¹²⁷ D'un autre côté, le suivi hormonal chez les mâles pourrait permettre d'identifier les périodes de production spermatique. En effet, des stratégies de reproduction prénuptiales

(élévation des concentrations plasmatiques de testostérone précédant le pic de production spermatique) et postnuptiales (élévation des concentrations plasmatiques de testostérone suivant le pic de production spermatique) ont été observées chez les caméléons casqués du Yémen et les caméléons panthères (*Furcifer pardalis*), respectivement.¹⁷⁴

1.2.3 Œufs et juvéniles

Plusieurs paramètres peuvent influencer le succès reproducteur des caméléons. À chaque étape du cycle de reproduction, soit de l'ovulation jusqu'à l'éclosion des œufs, des facteurs physiologiques, environnementaux et génétiques peuvent moduler la croissance des jeunes caméléons. Ces paramètres et leur incidence sur l'évolution des embryons seront abordés dans la présente section.

1.2.3.1 Paramètres influençant la ponte, l'incubation et le développement des œufs

L'humidité est un facteur environnemental qui influence la taille des femelles gestantes, la ponte et le taux de mortalité des caméléons en période de reproduction. En effet, en raison de vraisemblables variations dans la disponibilité des ressources, les femelles caméléons ovipares sauvages gestantes sont significativement plus petites (longueur rostre-cloaque) et pondent moins d'œufs pendant les années sèches que pendant les années humides.⁵⁷ De plus, bien que la taille des œufs soit indépendante de la taille de la femelle, la masse totale des pontes est significativement corrélée avec la longueur et le poids des femelles.⁵⁷ Finalement, des taux de mortalité plus élevés sont généralement notés chez les femelles gravides lors des années sèches.^{20,57}

Plusieurs paramètres influencent également l'incubation des œufs et le développement des embryons, notamment la température d'incubation. Ce paramètre a un effet sur la durée d'incubation, mais aussi sur le taux de survie des œufs et sur la masse corporelle des juvéniles.^{7,51,56} Chez les caméléons, une incubation à des températures modérées (25-26°C pour les caméléons communs,⁵⁶ 28°C pour les caméléons casqués du Yémen)⁷ offre les meilleures conditions pour le développement embryonnaire et post-éclosion. Une incubation à température optimale est associée avec un développement lent, une plus haute efficacité métabolique et une masse corporelle adéquate au moment de la sortie de l'œuf. De plus, le succès d'incubation et d'éclosion relié à de telles températures est supérieur à celui observé lors d'incubation à température basse ou haute. Des températures d'incubation trop hautes sont notamment associées avec un développement plus rapide et un temps d'incubation moins long.^{56,64} Cette période raccourcie d'incubation peut diminuer la viabilité des œufs et juvéniles par une augmentation de l'incidence de mortalités

embryonnaires et de problèmes de croissance, tel un ralentissement du développement à la sortie de l'œuf ou des malformations.^{6,7,51} En revanche, l'incubation à de basses températures (14°C) suivies de température adéquates (25°C) permet l'obtention de juvéniles de poids corporel supérieur à l'éclosion, notamment chez les caméléons communs. Ceci suggère que les périodes de torpeur et de diapause embryonnaire, qui seront abordées ci-dessous, contribuent à l'optimisation de la croissance des caméléons.⁵⁵

L'embryogenèse de plusieurs espèces de reptiles comprend une période où le développement embryonnaire est arrêté.⁸ Plusieurs mécanismes sont mentionnés dans la littérature, incluant la diapause et la torpeur. La diapause est décrite comme un mécanisme d'arrêt de développement embryonnaire ne dépendant pas de la température d'incubation, tandis que la torpeur se produit lorsque la température d'incubation est trop basse et persiste en présence de conditions non favorables à la croissance et au développement de l'embryon. Les caméléons sont les seuls squamates chez qui est décrite une diapause embryonnaire, mais ce phénomène est aussi rapporté chez les tortues.^{8,73,182} À ce jour, la diapause est décrite chez certaines espèces de caméléons des genres *Chamaeleo* et *Furcifer*.^{10,73,180} Elle se produit au moment de l'oviposition, et correspond à un événement « obligatoire » dans le développement embryonnaire de ces espèces. Durant cette période, qui peut durer 60 à 80 jours,⁹ l'embryon demeure au stade de gastrula et la gastrulation se produit extrêmement lentement. À la distinction de certaines tortues, chez qui les stimuli extérieurs sont nécessaires à la reprise du développement embryonnaire, l'arrêt de la diapause des caméléons est dit « spontané » et ne dépend pas d'un stimulus environnemental. Cependant, une augmentation de la température d'incubation peut mener à une diapause de moins longue durée, un phénomène décrit notamment chez le caméléon casqué du Yémen.⁹ Chez le caméléon commun, la diapause peut également être suivie d'une période de torpeur hivernale. Celle-ci, dépendante de l'environnement, peut durer plusieurs mois et s'arrête lorsque les conditions environnementales redeviennent plus favorables.^{8,55} Ceci mène à la reprise du développement embryonnaire au printemps, et à l'éclosion estivale des œufs chez cette espèce.^{10,23} Finalement, il a été suggéré que la diapause et la torpeur contribuent à synchroniser l'éclosion des œufs d'une même ponte.⁸

L'humidité est aussi un paramètre d'incubation et de développement bien étudié chez les caméléons. Les œufs absorbent plus d'eau lorsqu'incubés à haute température et haute humidité. L'humidité durant l'incubation n'a toutefois pas d'effet sur la durée de la diapause.⁹

Ainsi, la température et l'humidité influencent le temps d'incubation, le cycle reproducteur et le développement des œufs de caméléons.

1.2.3.2 Paramètres influençant l'éclosion des œufs

L'éclosion des œufs est influencée par plusieurs facteurs, incluant la température et le statut calcique et vitaminique des femelles reproductrices.⁷⁸ De plus, chez les caméléons panthères, le taux d'éclosion des œufs augmente lorsque les femelles reproductrices sont exposées à des radiations UVB de longue durée et d'intensité moyenne.⁷⁶

La température influence aussi le taux d'éclosion des œufs. Les taux d'éclosion sont maximisés à une température de 25°C chez le caméléon commun, en comparaison à des températures faibles (17-18°C) et des températures élevées (27-28°C et plus).²³ Une étude de Diaz-Paniagua et Cuadrado a consolidé cette hypothèse en obtenant, pour la même espèce, un taux d'éclosion de 100% à une température de 25°C, et une moyenne de 64% d'éclosion à une température de 29°C.⁵⁶ Par ailleurs, à une température adéquate de 25°C, le niveau d'humidité ne semble pas influencer le taux d'éclosion des œufs. Toutefois, à une température élevée, le taux d'humidité peut influencer la viabilité des œufs. Dans l'étude de Diaz-Paniagua et Cuadrado, le taux d'éclosion à 29°C était de 76.3% dans des conditions d'humidité élevée, et de 52.5% dans des conditions sèches.⁵⁶ Tel que mentionné précédemment, l'association des paramètres de température et d'humidité influence aussi l'incubation et le développement des œufs.

Ainsi, la littérature scientifique actuelle montre que la régie des caméléons exerce une influence importante sur le succès reproducteur et l'éclosion des œufs de ces espèces. Plusieurs ouvrages font mention des paramètres recommandés en fonction de l'espèce gardée en captivité.^{41,54,74,78,150}

1.2.3.3 Paramètres influençant la détermination des sexes

La détermination des sexes correspond au mécanisme nécessaire pour qu'un embryon adopte un sexe, mâle ou femelle, avant sa naissance. Plusieurs modèles de détermination génétique des sexes existent chez les reptiles, notamment l'hétérogamie mâle, l'hétérogamie femelle et les systèmes de chromosomes sexuels multiples. D'un autre côté, la détermination des sexes en fonction de la température est un phénomène connu chez les reptiles, mais n'est pas décrite chez les caméléons. La détermination des sexes des caméléons est donc, à ce jour, considérée comme génétique plutôt qu'environnementale.²³⁵

En effet, bien que les connaissances au sujet des mécanismes de détermination des sexes des caméléons demeurent limitées, une première étude présentait, en 2005, l'hypothèse que le sexe des caméléons casqués du Yémen est déterminé par la génétique plutôt que par la température d'incubation des œufs puisque le ratio des sexes reste identique à différentes températures d'incubation.^{5,235} Des conclusions similaires ont été faites pour les caméléons panthères, ce qui suggère à nouveau que le sexe des Chamaelonidae est déterminé génétiquement. Toutefois, une plus récente étude défendait plutôt l'hypothèse que la détermination des sexes chez les caméléons serait multifactorielle plutôt qu'unifactorielle (soit uniquement génétique ou uniquement température-dépendante).¹⁴ En effet, l'interaction entre plusieurs facteurs, incluant la masse des œufs et la température d'incubation, pourrait influencer la détermination des sexes des caméléons. À l'inverse, une étude publiée en 2015 a confirmé la présence d'hétérogamie femelle chez les caméléons panthères,¹⁸⁹ indiquant par le fait même une détermination génétique des sexes. Des études supplémentaires permettraient de déterminer si une variabilité existe entre les espèces de caméléons.

En conclusion, plusieurs facteurs influençant la ponte et le développement des œufs ont été déterminés chez les caméléons. Ceux-ci demeurent importants pour assurer la viabilité des individus nés en milieu zoologique, notamment dans le cadre des programmes de reproduction des espèces menacées. Plusieurs problèmes reproducteurs chez les caméléons en âge de se reproduire ont également été décrits dans la littérature. Ces conditions pathologiques des Chamaeleonidae seront abordées à la Section 2.

2. Maladies courantes chez les caméléons

De nombreuses maladies peuvent affecter les caméléons captifs. Ces maladies ont été principalement décrites dans des rapports de cas en provenance d'institutions zoologiques ou de particuliers, et leur prévalence est largement inconnue. Le but de cette revue de littérature est de définir les conditions considérées comme courantes chez les caméléons, préalablement à l'étude rétrospective des causes de mortalité de ces espèces en institutions zoologiques. Cette section présente donc les principales maladies pouvant affecter les caméléons.

Il importe de noter qu'en l'absence d'études pharmacocinétiques chez les caméléons, les doses thérapeutiques utilisées sont habituellement extrapolées des données provenant d'autres espèces de lézards. Celles-ci ne seront pas détaillées dans le présent document.

2.1 Insuffisance rénale

L'insuffisance rénale est un problème fréquent des reptiles, et peut être aiguë ou chronique. Une alimentation trop riche en protéines, une humidité trop faible menant à une déshydratation, un excès en vitamine D et une déficience en vitamine A sont des causes potentielles de maladies rénales chez les caméléons.^{97,238} Plusieurs bactéries Gram négatif peuvent aussi infecter le tractus urinaire des reptiles, notamment *Salmonella* spp., *Pseudomonas* spp. et *Aeromonas* spp. Plus rarement, *Mycobacterium* spp. est aussi rapporté comme un pathogène affectant le rein. D'autres maladies rénales peuvent être dues à des toxines, des fongis, des parasites (notamment les protozoaires flagellés) et des néoplasmes.^{112,113,140,155,238}

Les caméléons atteints d'insuffisance rénale présentent plusieurs signes cliniques non spécifiques.^{112,201,243} Les signes cliniques sévères se présentent lorsque les reins ont subi des lésions considérables, affectant plus de 50% du parenchyme fonctionnel.²³⁸ Les signes cliniques incluent de l'œdème gulaire et cervical, de l'ascite, une enflure des articulations liée à de la goutte articulaire, et des signes de déshydratation comme de l'enophtalmie ou une sécheresse des muqueuses.²³⁸ En cas de néphromégalie, les caméléons peuvent être incapables de déféquer ou de pondre. Lors de maladies rénales avancées, les reptiles peuvent également vomir, présenter de la diarrhée, être anorexiques ou développer de l'hyperparathyroïdie secondaire d'origine rénale.⁶⁴

Les méthodes diagnostiques des maladies rénales incluent les analyses sanguines et les procédures d'imagerie médicale. Une élévation de l'urée sanguine peut notamment être associée à une maladie prérénale, rénale ou post-rénale, et l'hyperkaliémie et l'hypocalcémie sont des changements rapportés chez les reptiles atteints d'insuffisance rénale.^{64,97,201,238}

Une néphromégalie ou la présence de minéralisations rénales peuvent être des indicateurs radiologiques d'une maladie rénale.⁶⁴ L'échographie cœlomique, pour sa part, peut permettre la visualisation de granules larges et hyperéchogènes au sein des reins lors de maladie rénale, correspondant à des granulomes ou à de la goutte. L'échographie peut aussi servir à la réalisation d'une cystocentèse ou une cœlomocentèse en cas d'ascite. Ces procédures sont toutefois délicates chez les petites espèces de caméléons.^{64,97}

La déshydratation chronique est suggérée comme étant l'une des causes fréquentes d'insuffisance rénale chez les caméléons.⁶³ Tel que mentionné précédemment, des problèmes de régie (source d'eau inadaptée à l'espèce) ou des paramètres hygrométriques inadéquats peuvent être à l'origine de cette condition.¹¹⁴

Comme les causes pouvant provoquer une maladie rénale sont multiples, et parfois multifactorielles,²⁰¹ les traitements d'insuffisance rénale sont recommandés en fonction de la présentation de l'animal. Les premières procédures consistent à stabiliser l'animal, puis à corriger les paramètres de régie déficients s'ils sont présents. La réhydratation du reptile est primordiale.²³⁸ Le pronostic des maladies rénales est très variable et dépend de la cause, de l'état de l'animal et de la durée de la condition. La prévention de ces maladies débute par l'établissement d'une régie et d'une alimentation adéquates selon l'espèce gardée.²⁰¹

2.2 Hyperparathyroïdie secondaire d'origine nutritionnelle

La peau des lézards est impliquée dans la synthèse de vitamine D. L'exposition adéquate aux rayons UVB permet la conversion du cholestérol en la forme inactive de vitamine D, qui devient à son tour la forme active de la molécule, soit le 1,25-dihydroxycholecalciférol.^{76,233} La vitamine D active est nécessaire pour l'absorption de calcium au niveau intestinal. En absence de vitamine D, les caméléons sont sujets à développer une hyperparathyroïdie secondaire d'origine nutritionnelle qui, avec l'hyperparathyroïdie d'origine rénale, est parmi les maladies les plus fréquemment diagnostiquées chez les reptiles gardés en captivité.^{60,120,166}

L'hyperparathyroïdie secondaire d'origine nutritionnelle, aussi couramment appelée la maladie métabolique des os ou ostéodystrophie fibreuse, se produit lorsqu'il y a résorption du calcium des os en raison d'un trop faible niveau de calcium sanguin. En effet, le déficit d'absorption calcique provoque la production excessive d'hormone parathyroïde, qui engendre à son tour la résorption du calcium pour le rétablissement de la calcémie.¹²⁸ Comme mentionné, une alimentation carencée en calcium ou trop riche en phosphore, une hypervitaminose A⁶⁵ ou un déficit en UVB peuvent causer cette condition.¹⁰²

L'utilisation de suppléments en vitamines et minéraux est recommandée pour combler les besoins nutritionnels des caméléons. En effet, les caméléons ne recevant aucune supplémentation nutritive en calcium, vitamine A et cholécalciférol sont plus à risque de développer des lésions d'ostéodystrophie fibreuse, alors que la présence de ces composés dans la diète peut permettre de prévenir cette maladie.¹⁰² De plus, comme la plupart des végétaux et insectes communément offerts aux caméléons sont carencés en calcium, le « *gut-loading* » des insectes avec une diète riche en calcium permet souvent de prévenir l'hyperparathyroïdie secondaire d'origine nutritionnelle.^{65,101,121} Toutefois, le saupoudrage des insectes ne produit généralement pas les mêmes résultats, car les proies peuvent se débarrasser du supplément avant d'être ingérées.

Une sous-exposition aux rayons UVB peut aussi mener à une hypocalcémie, à la résorption du calcium des os via une augmentation de l'hormone parathyroïde, et ultimement à une hyperparathyroïdie secondaire d'origine nutritionnelle.¹²⁰ Les caméléons régulent toutefois leur exposition aux UVB selon leur apport alimentaire en vitamine D3. Ce comportement favorise donc le maintien de niveaux de vitamine D et de calcium sanguins adéquats.^{75,77}

Le développement de l'hyperparathyroïdie secondaire d'origine nutritionnelle se produit généralement chez les animaux en croissance rapide ou chez les femelles en reproduction en raison de leurs besoins calciques augmentés.¹²⁰ Les signes cliniques incluent de l'anorexie, de la léthargie, une incapacité à marcher normalement, une flexibilité ou des fractures de la mandibule, du maxillaire et des os longs, des dystocies, des convulsions et une tétanie.^{60,233} La gravité des signes cliniques dépend de l'âge, de la durée de la maladie et de la sévérité des lésions.

Le diagnostic de cette condition est réalisé par imagerie médicale. Les radiographies permettent d'identifier une déminéralisation du squelette,²⁰⁵ tandis qu'une hypocalcémie et une hyperphosphatémie peuvent être des signes hémato-biochimiques de cette condition en phase

terminale.⁶³ Il peut toutefois être difficile de confirmer un diagnostic d'hyperparathyroïdie à travers des rapports de nécropsie et de différencier cette condition d'une fracture traumatique, notamment lorsque la qualité de l'os n'est pas spécifiquement décrite par le pathologiste.

Les traitements initiaux de l'hyperparathyroïdie incluent des soins de support et de stabilisation, tels de la fluidothérapie sous-cutanée et un support nutritionnel. Une supplémentation parentérale en calcium est effectuée en cas de convulsions ou de diminution avérée du calcium ionisé.⁶³ Toute fracture osseuse pouvant nuire à la qualité de vie ou au pronostic de l'animal devrait être traitée par immobilisation externe.¹²⁰ Finalement, la correction de la diète et des conditions de régie du caméléon est primordiale dans la gestion de l'hyperparathyroïdie secondaire d'origine nutritionnelle. Le pronostic de cette condition est variable selon la présentation de l'animal.⁶⁰

2.3 Hypovitaminose A

La vitamine A est une vitamine liposoluble présente dans de nombreuses diètes commerciales. Elle est normalement emmagasinée dans le foie et sert au maintien des tissus épithéliaux et à la vision, la croissance, la reproduction et la fonction immunitaire.¹⁴¹

Les caméléons sont principalement insectivores et omnivores. Toutefois, la plupart des insectes contiennent peu de vitamine A en comparaison aux mammifères, et les plantes ne contiennent que des caroténoïdes, pas de vitamine A.¹⁶⁷ Si certains embryons de caméléons, comme les caméléons panthères, sont capables d'utiliser les caroténoïdes,⁵⁸ cette capacité de conversion n'a pas été étudiée chez les adultes. Une supplémentation alimentaire en vitamine A est donc recommandée de façon préventive chez les caméléons.²⁵ La dose toxique de vitamine A est environ cent fois supérieure aux doses sécuritaires décrites chez les reptiles, mais les risques de surdose augmentent lorsque la vitamine A est donnée par voie injectable.²¹³

La lésion principale associée à l'hypovitaminose A est une métaplasie squameuse de l'épithélium salivaire et conjonctival.²⁵ Les épithéliums respiratoires, endocrines, gastro-intestinaux et génito-urinaires peuvent aussi être touchés par cette condition. D'autres signes cliniques peu spécifiques de l'hypovitaminose A incluent une léthargie, une anorexie, une perte de poids et des sécrétions oculaires et nasales.^{25,138} Chez les caméléons, cette condition peut être associée à un œdème périoculaire, des sécrétions oculaires et un gonflement des lèvres et de la région gulaire.^{25,138} Les déficiences en vitamine A ont été associées à des problèmes de croissance et de reproduction chez les caméléons panthères.⁷⁸

Contrairement à plusieurs autres paramètres, les niveaux de vitamine A ne peuvent pas être évalués par des analyses sanguines. La détermination des niveaux de rétinol hépatique est le seul test disponible pour le diagnostic de cette condition. Toutefois, malgré la disponibilité de ce test clinique, la majorité des diagnostics d'hypovitaminose A sont basés sur les signes cliniques, l'historique et la réponse au traitement de l'animal.^{25,234}

La prévention d'une récurrence inclut des changements alimentaires par l'ajout d'aliments riches en carotènes ou en vitamine A.²⁵

2.4 Hypervitaminose A

L'hypervitaminose est un désordre nutritionnel se produisant lorsqu'un excès de vitamine A est donné dans l'alimentation ou par voie parentérale (hypervitaminose A iatrogénique).

Un excès en vitamine A provoque une surcharge hépatique. Les principaux signes cliniques associés à cette condition sont des dommages tissulaires comme la présence d'une peau sèche, érythémateuse et squameuse.^{25,141,213} Les zones les plus touchées sont les replis cutanés en portion proximale des membres. Dans les cas sévères d'hypervitaminose A, des dermatites bactériennes ou fongiques secondaires peuvent survenir. Les autres signes cliniques de cette condition incluent la léthargie, l'anorexie, la perte de poids et la déshydratation.²¹³ Chez les caméléons, un excès en vitamine A peut mener à une maladie métabolique des os en raison des interactions avec la vitamine D.⁶⁵

Tout comme pour l'hypovitaminose A, le diagnostic d'hypervitaminose A est principalement réalisé par la prise d'une anamnèse complète. La mesure de la concentration hépatique en rétinol est également possible, mais le dosage plasmatique de la vitamine A demeure peu fiable.¹⁴¹

Le traitement de l'hypervitaminose est similaire à un traitement pour brûlures, et comprend des soins de support avec fluidothérapie, des soins de plaie, des antibiotiques systémiques et un traitement antinociceptif si nécessaire.^{25,213} Les caméléons présentant une hypervitaminose A chronique peuvent nécessiter des soins de support à long terme.

Le pronostic d'une hypervitaminose A dépend de la sévérité des lésions et de la quantité de vitamine A ayant été ingérée ou administrée.¹³⁸ Afin de prévenir une hypervitaminose A, certains auteurs recommandent l'utilisation de vitamine A liposoluble plutôt qu'hydrosoluble.²¹³

2.5 Rétention d'œufs

La rétention d'œufs est un phénomène observé fréquemment chez les caméléons captifs. Il importe de distinguer les rétentions préovulatoires, qui se produisent lorsque des follicules ovariens matures stagnent dans les ovaires, des rétentions post-ovulatoires, où des œufs demeurent dans l'oviducte.¹⁰⁵ La première condition représente une stase folliculaire, alors que la seconde est une dystocie. Les dystocies peuvent également être obstructives ou non obstructives. Lors de dystocie obstructive (anomalies fœtales ou maternelles, effet de masse cœlomique), l'animal est incapable anatomiquement de pondre. Lors de dystocies non obstructives, les œufs semblent de taille et forme normales, la femelle ne présente aucune anomalie anatomique,⁵³ et de mauvais paramètres de régie ou un mauvais état général de la femelle gravide peuvent être en cause. Une diète et un environnement adaptés à la gestation et à l'oviposition doivent donc être favorisés lors de la reproduction d'un caméléon.⁵³ Les signes cliniques d'une rétention d'œuf incluent une anorexie, du ténesme et une distension cœlomique.⁷¹ Ces signes ne sont toutefois pas spécifiques à un problème du système reproducteur et peuvent être visibles chez des lézards en santé en fin de cycle.⁵³

Plusieurs méthodes diagnostiques permettent l'évaluation des rétentions d'œuf, notamment l'imagerie médicale et les analyses sanguines. La radiographie permet l'évaluation de la présence, la morphologie, la calcification et les anomalies des œufs.⁶³ L'échographie cœlomique est aussi utilisée pour identifier les follicules et les œufs, qui sont habituellement nombreux et bilatéraux chez les caméléons.⁶³ En cas de dystocie associée à une salpingite, les parois des œufs, habituellement lisses, peuvent devenir irrégulières et changer d'échogénicité.^{63,90} Aux analyses sanguines, les femelles caméléons communs dystociques présentent une augmentation du nombre de monocytes et une diminution du nombre d'hétérophiles.⁴⁷

Parmi les traitements possibles d'une dystocie chez les caméléons, l'approche médicale et la chirurgie ont été décrites. Les changements environnementaux, l'apport en calcium et la stimulation hormonale sont les premières approches tentées lors du diagnostic de dystocie non obstructive. L'ocytocine est fréquemment utilisée pour stimuler l'oviposition.^{121,212,214} L'efficacité de cette hormone sur la ponte est variable selon l'espèce, la durée de rétention et la température. Ses résultats chez les caméléons sont mitigés puisqu'elle ne permet pas toujours l'induction de l'oviposition.^{53,214} Si les options précédentes sont infructueuses, ou si l'état de l'animal le

nécessite, des options chirurgicales sont possibles. Lors de rétention post-ovulatoire, une salpingectomie sans ovariectomie peut prédisposer l'animal à des pontes ectopiques. Alors qu'une approche ventrale est préférée chez la majorité des reptiles, une approche latérale est utilisée chez les caméléons en raison de leur morphologie.⁶¹

Le pronostic d'une rétention d'œuf est excellent si la femelle est en bon état corporel, mais diminue drastiquement selon l'état général du caméléon. La prévention d'une autre période de reproduction peut inclure la distanciation physique des individus mâles et femelles, ainsi que l'ovario-salpingectomie bilatérale. Des méthodes de contraception par prévention du développement folliculaire grâce à l'acétate de médroxyprogestérone et à la leuproréline ont été évaluées chez le caméléon casqué du Yémen, mais n'ont pas permis de freiner la croissance folliculaire.¹⁷⁵

2.6 Gingivite

La gingivite est une maladie parodontale causée par une invasion bactérienne ou fongique des tissus de la cavité orale. Elle se présente surtout chez les lézards qui ont des dentitions acrodontes, comme les caméléons.³⁷ L'accumulation de plaque menant à la gingivite est généralement associée à des coques aérobies Gram positif. Lors des cas plus sévères, des microorganismes anaérobies telles des bactéries Gram négatif et des spirochètes peuvent infiltrer les tissus infectés.^{95,149} *Aspergillus* spp. a aussi été identifié dans un cas de maladie parodontale chez un caméléon panthère.⁹³

Les reptiles affectés présentent des signes cliniques peu spécifiques comme de l'anorexie, et peuvent présenter une incapacité à fermer leur cavité orale adéquatement. Certains caméléons atteints de maladie parodontale ne présentent aucun signe clinique, et les lésions sont notées lors de l'examen général.¹⁴⁹

À l'examen visuel, la présence d'abcès ou d'hyperplasie gingivale peut être signe de maladie parodontale. Les radiographies dentaires peuvent être un outil diagnostique pertinent pour l'évaluation des structures osseuses.^{95,149} Une culture et un antibiogramme sont nécessaires pour identifier le pathogène en cause et déterminer l'antibiothérapie appropriée.^{63,64}

Un traitement initial agressif est nécessaire pour l'obtention du meilleur pronostic possible, qui est variable en fonction de l'étendue de la condition et de la présence ou non d'ostéomyélite.⁹³ Même après rémission, des séquelles peuvent subsister après le traitement car les dents acrodontes ne repoussent pas.^{37,93}

2.7 Stomatite

La stomatite, pour sa part, correspond à l'inflammation, souvent jumelée à une infection, des tissus de la cavité orale. L'infection peut parfois s'étendre aux sinus et à l'os. Plusieurs pathogènes (bactéries, virus, fongi, parasites) peuvent causer une stomatite chez les reptiles.^{95,196} Les causes prédisposant à cette condition sont une immunosuppression, une régie inadéquate causant une hypovitaminose A ou de l'hyperparathyroïdie, et un trauma.⁶³ Les lézards avec une dentition acrodonte, comme les caméléons, sont susceptibles de développer des maladies parodontales en raison de la fragilité des structures dentaires et gingivales. L'invasion de l'os par des organismes opportunistes peut engendrer une ostéomyélite.^{93,95,149}

Les bactéries et fongi causant une stomatite font souvent partie de la flore normale des reptiles, en tant que microorganismes opportunistes.^{78,118} La majorité des stomatites bactériennes sont toutefois dues à des microorganismes Gram négatif. Certains parasites comme les helminthes ainsi que certains virus ayant un tropisme pour les muqueuses orales peuvent également causer cette condition.^{63,95} Les infections à *Ranavirus* peuvent notamment engendrer des stomatites chez les caméléons.¹⁷³

Les signes cliniques de stomatite incluent la présence d'abcès ou de gonflement intra-oral ou péri-oral, une incapacité à fermer complètement la cavité orale, une hyperhémie des muqueuses et une dysfonction de la langue et du larynx.^{93,95,173,196}

Comme pour la gingivite, le diagnostic de stomatite se fait par examen visuel de la cavité orale et par la prise d'une anamnèse complète. Des radiographies de la tête peuvent être indiquées dans les cas plus sévères, et un bilan sanguin peut être suggéré lorsqu'une septicémie est soupçonnée.^{64,95} Une culture et un antibiogramme permettent l'identification des pathogènes en cause et l'établissement d'une antibiothérapie adaptée.

Le traitement dépend de la sévérité de la condition. Les cas légers de stomatites peuvent s'améliorer en réponse à la correction des paramètres de régie (température, humidité, luminosité, etc.). Le débridement des tissus lésés est toutefois souvent nécessaire pour permettre le rétablissement du caméléon.⁶⁴ Une antibiothérapie systémique et l'administration d'anti-inflammatoires non stéroïdiens sont également indiquées pour cette condition.⁶³ Le pronostic est souvent réservé.

2.8 Mycoses

Les mycoses cutanées ou systémiques représentent un problème émergent chez les caméléons.¹⁹⁵ *Chrysosporium* et *Metarhizium* spp. sont deux agents pathogènes primaires – et non opportunistes – pouvant causer des mycoses chez les caméléons.^{169,197}

Les *Nannizziopsiaceae* (anciennement CANV ou *Chrysosporium* anamorph of *Nannizziopsis vriesii*) causent des dermatomycoses superficielles ou profondes. Ces fungi ont été rapportés chez plusieurs espèces de caméléons,¹⁹⁵ et les postulats de Koch ont notamment été validés pour *Nannizziopsis vriesii* chez le caméléon casqué du Yémen.¹⁶⁹ Les signes cliniques de ces mycoses incluent des lésions jaunâtres à brunâtres sur des écailles isolées, ou des granulomes fongiques lors d'infections systémiques.^{169,171,195} Les mycoses à *Nannizziopsiaceae* semblent contagieuses et aisément transmises au sein d'une population de caméléons, soit par contact direct ou par fomites.¹⁶⁹

Metarhizium viride et *Metarhizium granulomatis* (anciennement *Chamaeleomyces granulomatis*) sont associés avec des mycoses systémiques chez les caméléons. Ces organismes ont notamment été découverts chez des caméléons casqués du Yémen et des caméléons panthères gardés en milieu zoologique.^{197,198,204} En plus de signes cliniques peu spécifiques comme de l'anorexie, *M. viride* et *M. granulomatis* peuvent causer des dermatites, stomatites, glossites et pharyngites fongiques.¹⁹⁷ Le diagnostic de ces mycoses se fait par histopathologie, culture fongique et PCR.

Les traitements de base des mycoses cutanées incluent un débridement et une désinfection des lésions.¹⁹⁵ D'autre part, plusieurs agents antimycotiques, notamment l'itraconazole, le kétoconazole et la nystatine, peuvent être utilisés pour traiter les mycoses chez les reptiles, mais leur succès thérapeutique varie selon l'espèce et n'a pas été démontré chez les caméléons.¹⁹⁵⁻¹⁹⁷ Quelques études mentionnent notamment que les caméléons sont peu tolérants au voriconazole, et son utilisation est contestée chez les Chamaeleonidae.^{63,195} La terbinafine topique a aussi été utilisée pour traiter des infections à *Nannizziopsis vriesii* chez le dragon barbu,^{1,24} mais l'utilisation sécuritaire et bénéfique de ce médicament chez les caméléons n'a pas été démontrée.⁶³ Finalement, certaines sources mentionnent que les mycoses à *Metarhizium* spp. chez les caméléons seraient invariablement fatales, notamment en raison des résistances de ce pathogène à l'itraconazole et au kétoconazole. De plus, *Metarhizium* spp. n'est sensible à la terbinafine, à la nystatine, au posaconazole et à l'amphotéricine B qu'à de très fortes doses *in vitro*, ce qui limite les options de traitements des caméléons.^{196,204}

2.9 Septicémies bactériennes

La plupart des infections sont causées par des microorganismes opportunistes de la flore normale des caméléons, notamment des bactéries Gram négatif comme *Aeromonas* spp. et *Pseudomonas* spp. Les mauvaises conditions de régie sont des causes prédisposantes aux infections.⁶² Les signes cliniques classiques incluent une détresse respiratoire, une léthargie et des convulsions.^{62,140}

Le diagnostic présomptif *ante mortem* d'une septicémie bactérienne peut être réalisé à l'aide d'une hématologie ou d'une culture sanguine bactérienne chez les plus grandes espèces de caméléons.¹⁴⁰ Le diagnostic *post mortem* repose sur l'histopathologie et la culture du microorganisme dans différents tissus.

Les bactéries du genre *Chlamydia* sont des Gram négatif n'étant pas normalement présentes dans la flore commensale des caméléons.⁶³ Plusieurs espèces de *Chlamydia* ont été détectées chez les reptiles, dont *Chlamydia pneumoniae* et *Chlamydia psittaci*.⁶³ Les cas de chlamydie sont peu rapportés chez les caméléons, et seulement quelques cas ont été présentés dans la littérature. Un cas de chlamydie a notamment été détecté chez un caméléon casqué,¹⁰⁸ tandis que des cas d'infection à *Chlamydia pneumoniae* ont été identifiés chez des caméléons panthères.¹¹⁵ Les chlamydioses sont difficiles à identifier en culture. La méthode diagnostique idéale pour la détection de ce pathogène est donc la PCR.⁶³ Les traitements de choix pour une chlamydie incluent le retrait chirurgical des granulomes causés par l'infection, ainsi qu'une antibiothérapie aux macrolides ou aux tétracyclines d'une durée de plusieurs semaines.^{63,64}

Les salmonelles, pour leur part, sont des bactéries Gram négatif dont plus de 2000 sérotypes ont été identifiés.³¹ Les infections à salmonelle chez les caméléons sont souvent asymptomatiques.^{31,62,114} Une étude a notamment montré que 80% des caméléons casqués échantillonnés présentaient un ou plusieurs sérotypes de *Salmonella enterica*.¹⁸⁷ Le diagnostic de salmonellose peut être réalisé par une culture bactérienne, mais la pertinence de ce test est controversée. En effet, l'obtention d'une culture bactérienne négative ne signifie pas hors de tout doute l'absence de salmonelles.³¹ De plus, les caméléons positifs sont fréquemment porteurs sains de cette bactérie, signifiant par le fait même que la présence de ce microorganisme à la culture ne justifie pas toujours la mise en place d'un plan thérapeutique. L'efficacité des traitements antibiotiques pour ce genre d'infection demeure également mitigée, car ceux-ci pourraient mener à une diminution de l'excrétion sous les doses détectables plutôt qu'à une élimination complète

des agents pathogènes.³¹ Le traitement des caméléons contre *Salmonella* spp. n'est donc généralement pas recommandé.⁶²

2.10 Parasitoses

Les parasitoses sont fréquemment rencontrées chez les caméléons, notamment les individus capturés en nature. Les prévalences rapportées de parasitose des caméléons varient d'une étude à l'autre, allant parfois jusqu'à plus de 90%.^{35,68,70,181,216,239} Parmi les parasites observés chez les caméléons se trouvent des cestodes (*Mesocestoides* spp., *Oophoristica* spp.),^{88,146,147,192} des coccidies (*Choleoimeria* spp., *Eimeria* spp., *Isospora* spp.),^{69,142,143,148,156,157,207,217} des nématodes (*Ascaris* spp., *Enterobius* spp., *Foleyella* spp., *Hexametra* spp., *Pharyngodonidae* spp., *Rhabdias* spp., *Spinicauda* spp., *Strongyluris* spp.),^{21,35,70,88,135-137,144,145,147,168,181,219,239} des trématodes,^{19,144,158,239} et des flagellés.¹¹³ Des mentions d'infections de caméléons par *Acanthocephala* spp. et *Cryptosporidium* spp. se retrouvent également dans la littérature.^{123,208}

Plusieurs infections parasitaires chez le caméléon engendrent des conditions sous-cliniques.^{69,70,123} Les infections à *Foleyella* spp. sont souvent asymptomatiques. Toutefois, une toxémie secondaire à de la nécrose tissulaire est possible, tandis qu'un choc endotoxique peut se produire lors de la vermifugation de l'animal infecté en raison de la mort simultanée des parasites, notamment lors d'un traitement à l'ivermectin.^{123,219} Les coccidioses, pour leur part, peuvent causer de l'anorexie, de la diarrhée, des régurgitations et, dans les cas les plus sévères, une entérite hémorragique.^{35,123}

Un examen coprologique (frotti direct) et un test de flottaison en sulfate de zinc ou en eau sucrée saturée permettent de détecter la plupart des parasites gastrointestinaux.^{123,216,239} Les trématodes, pour leur part, sont plus facilement détectables à l'aide de la méthode standard SAF (sodium acétate formaline).²³⁹ Le diagnostic de *Foleyella* spp. est réalisé par l'examen d'un frotti sanguin, et certains de ces parasites peuvent être observés à la nécropsie.¹⁰⁷ Une étude suggère également que la PCR pourrait être une méthode de détection plus sensible pour la détection des infections d'hémoparasites.¹⁸⁸

Plusieurs endoparasites des caméléons sont résistants aux traitements communément disponibles sur le marché.^{150,217} Le praziquantel, le métronidazole et le fenbendazole sont toutefois rapportés comme potentiels traitements antiparasitaires chez les caméléons.^{15,150} Certains des parasites affectant les Chamaeleonidae sont également sensibles à l'ivermectine. Toutefois, ce médicament est connu pour causer des effets adverses chez certains reptiles, et peut même entraîner la mort en

cas de lyse massive de microfilaires chez les caméléons.^{150,219} Bien que l'utilisation fructueuse de ce produit ait été rapportée chez les Chamaeleonidae pour le traitement d'une infestation à *Stroglyoides* sp.,⁹⁶ des études supplémentaires seraient nécessaires pour préciser la pharmacocinétique et la pharmacodynamie de l'ivermectine chez les caméléons. Finalement, la mise en place de protocoles d'hygiène et de désinfection des habitats est primordiale pour le contrôle des infections parasitaires en captivité.²¹⁷

2.11 Néoplasmes

La prévalence des différents néoplasmes chez les caméléons est peu documentée.^{86,124} Les tumeurs cutanées sont fréquemment décrites dans des rapports de cas, sans toutefois savoir si un biais de détection est en cause. Les carcinomes spinocellulaires, les liposarcomes, les papillomes squameux, les kératoacanthomes, les carcinomes anaplasiques et les tumeurs des cellules de Sertoli sont d'autres néoplasmes rapportés chez les caméléons casqués du Yémen et les caméléons panthères.^{2,111,124,154,194,210} Les causes de néoplasmes chez les reptiles incluent la radiation, les virus oncogènes, la diète, les hormones, la génétique et l'âge.⁹⁸

Les tumeurs des cellules pigmentaires affectant les mélanophores, les xanthophores et les iridophores sont fréquemment malignes et peuvent métastaser au niveau de la peau et des organes internes.^{29,94,134,228} Le diagnostic d'une tumeur des iridophores ou des mélanophores est réalisé par un examen histopathologique ou cytologique de la masse.²⁹ Ces procédures diagnostiques permettent de différencier les tumeurs des chromatophores d'autres lésions comme les abcès et les granulomes. Les chromatophores peuvent être caractérisés à la microscopie électronique,²⁹ ou encore identifiés par l'observation de granules verdâtres biréfringentes sous lumière polarisée.^{134,228}

L'excision chirurgicale, la cryothérapie, l'ablation au laser et la radiation des tumeurs des cellules pigmentaires ont été décrites chez des caméléons.^{29,134} Lors de l'excision chirurgicale, des marges suffisantes doivent être retirées de chaque côté de la tumeur pour assurer le retrait complet des cellules néoplasiques. Il a toutefois été suggéré que la manipulation chirurgicale des tumeurs des iridophores peut stimuler les métastases.²²⁸

Les traitements des tumeurs de reptiles décrits dans la littérature sont extrapolés de l'oncologie des mammifères, mais leur efficacité, leur toxicité et leurs effets adverses chez les caméléons demeurent peu documentés à ce jour.^{2,98,194} Des rapports de cas mentionnent l'utilisation sous-

cutanée sans effets adverses de microparticules de carboplatine ainsi que le succès thérapeutique d'un traitement adjuvant de thérapie photodynamique à l'aide d'un gel topique photosensibilisant et d'un médicament immunomodulateur dans la gestion de carcinomes spinocellulaires chez des caméléons panthères.^{111,236} De façon similaire, une étude a montré un premier cas de leucémie myéloïde répondant à la chimiothérapie chez un caméléon casqué du Yémen.⁵² D'autres études seraient toutefois nécessaires pour évaluer l'efficacité de ces traitements pour les néoplasmes des caméléons.

3. Conclusion

En plus de présenter quelques particularités des caméléons pouvant avoir un impact important sur leur état de santé, l'objectif principal de cette revue de littérature était de définir les conditions considérées comme courantes chez les *Chamaeleonidae*. Cette revue de littérature, réalisée préalablement à l'étude rétrospective des causes de mortalité des caméléons en institutions zoologiques, a notamment permis d'identifier plusieurs facteurs de risque présents chez les caméléons, de définir les possibilités et les limites diagnostiques chez ces espèces, et de faire l'introduction de plusieurs maladies pertinentes au présent projet de recherche.

CHAPITRE 2 – PROJET DE MAÎTRISE : MÉTHODES ET RÉSULTATS

1. Matériel et méthode

L'approche choisie pour la collecte de données a été élaborée afin de favoriser l'anonymisation des données. Toute donnée, information ou valeur pouvant permettre d'identifier précisément une institution zoologique ou un partenaire participant a été retirée de l'étude à la demande de certaines institutions. Le respect de cette confidentialité avait pour objectif de favoriser la participation des zoos et le partage d'informations dites « sensibles », tels les résultats de nécropsie, avec l'équipe de recherche. Des ententes avec certaines institutions zoologiques ont été établies à cet effet selon les normes de l'Université de Montréal.

Dans le cadre de cette étude, une collecte de données a été réalisée en trois temps.

1.1 Évaluation des données issues de ZIMS

Dans un premier temps, une recherche exploratoire des informations librement accessibles sur la base de données ZIMS a été réalisée afin d'obtenir des informations sur la distribution et la reproduction des espèces de caméléons gardés dans les zoos.

Les rapports de détention (« *holding reports* ») et le module d'exportation d'étiquettes (« *TAG export* ») ont été utilisés, en 2021, pour déterminer les noms et la distribution géographique des institutions gardant des caméléons au moment de l'étude; le nombre de caméléons gardés dans les zoos inscrits sur ZIMS; la distribution des espèces de caméléons par institution et par continent; la distribution des sexes de caméléons par espèce, par institution et par continent; ainsi que le nombre de naissances par espèce, par institution et par continent dans les 12 derniers mois. Les données concernant la distribution et la reproduction des caméléons en milieu zoologique ont été saisies dans un fichier Excel (Microsoft Office, Redmond, WA 98052, USA) standardisé à des fins d'analyses statistiques descriptives. Le statut de conservation de 200 espèces de caméléons a été extrait à partir du site internet de l'IUCN.¹⁰⁶ Une représentation graphique des caméléons gardés par les zoos en fonction du statut de conservation a été créée.

Un test binomial exact a été réalisé pour comparer la fréquence de garde en captivité des mâles et des femelles pour chaque continent. De plus, un test multinomial a été fait dans R (R version 4.2.1, R Core Team (2022), Vienna, Austria) afin d'évaluer l'impact du continent sur les modèles de

garde en captivité des zoos. Un test du rapport de vraisemblance a été fait pour chaque variable fixe. À travers toute l'étude, la valeur limite de P a été fixée à 0,05.

Par ailleurs, une recherche des données historiques sur la distribution des âges des caméléons gardés en milieu zoologique a été réalisée en collaboration avec trois chercheuses de l'équipe de Species360 (Dalia Conde, Johanna Staerk et Floriane Plard). L'objectif de cette partie de l'étude était de déterminer l'espérance de vie moyenne à la naissance et la longévité des individus les plus vieux par espèce et par sexe. L'espérance de vie est définie comme le nombre moyen d'années que vivent les individus d'une espèce donnée. La longévité, en comparaison, correspond à l'âge le plus élevé qu'un individu d'une espèce donnée pourrait atteindre. Les dates de naissance et de mort des caméléons disponibles dans la base de données ZIMS ont été utilisées pour calculer l'âge des plus vieux individus vivant ou ayant vécu à ce jour par espèce et par sexe. Seuls les animaux nés en captivité et possédant des dates de naissance et de mort connues ou étant toujours vivants au moment de la collecte de données ont été inclus dans l'étude. Les 95^e, 99^e et 99,9^e percentiles de durée de vie par sexe des espèces représentées par cet échantillonnage ont été calculés. En effet, certaines données saisies dans ZIMS pourraient être incorrectes, et le calcul des percentiles est pertinent pour ne pas surinterpréter une donnée de longévité unique. Ensuite, une analyse trajectoire de survie bayésienne (Bayesian Survival Trajectory Analysis, BaSTA package, Colchero et al., 2012)⁴² a été réalisée dans R pour estimer l'espérance de vie moyenne à la naissance par espèce et par sexe. Seules les espèces avec un échantillon de plus de 70 individus et ayant vécu entre 1980 et 2024 ont été incluses dans l'étude. Les espèces pour lesquelles l'incertitude entourant la date de naissance des animaux était supérieure à un mois pour plus de 30% des individus ont été exclues de l'étude. Les animaux présentant des longévités supérieures au 99^e percentile de l'espèce ont été exclus de l'étude. Les mortinaissances, soit les animaux morts au premier jour de vie, ont aussi été exclues de l'étude. Enfin, des courbes de Kaplan-Meier ont été réalisées dans R pour illustrer ces résultats.

1.2 Sondage en ligne

Dans un second temps, les institutions zoologiques qui gardaient ou avaient gardé des Chamaeleonidae dans les dix dernières années en date de l'étude ont été contactées afin d'obtenir des renseignements supplémentaires sur leurs caméléons présents et passés. Les coordonnées de chaque zoo ont été obtenues grâce à la base de données ZIMS ou par le site internet des institutions.

Un sondage en ligne (Google Forms, Google, Mountain View, CA 94043, USA) a été envoyé à 245 zoos entre septembre 2021 et septembre 2022 (Supplemental Figure 1, Chapitre 3). Des informations concernant la distribution, la reproduction, les résultats de nécropsie et les paramètres de régie des caméléons de chacune des institutions participantes ont été collectées grâce à ce sondage. Des questions sur les pratiques d'alimentation des caméléons de chaque zoo, incluant le type d'abreuvement, le type de proies données, la fréquence des repas et la méthode de supplémentation des aliments, ont notamment été incluses dans le questionnaire.

Les données recueillies à partir du sondage en ligne ont été saisies dans une base de données standardisée sur Excel, et des analyses statistiques descriptives ont été réalisées. Un test exact de Fisher a été réalisé pour déterminer si le taux de réponse variait en fonction du continent. Pour répondre à un objectif de l'étude qui était de déterminer les facteurs de risque des maladies rénales, plusieurs modèles de régressions linéaires ont également été utilisés pour étudier l'association entre certains paramètres environnementaux et la prévalence de lésions rénales à la nécropsie. Dans chaque modèle linéaire, la variable dépendante était la prévalence de lésions rénales par zoo. Selon le modèle linéaire, la variable indépendante était la température au point chaud, la température au point froid, l'hygrométrie minimale, moyenne ou maximale de l'habitat des caméléons, ou encore l'hygrométrie minimale, moyenne ou maximale de la région géographique du zoo dans lequel ces animaux étaient gardés. Lorsque l'association était significative, une représentation graphique a été réalisée.

1.3 Accès aux dossiers médicaux

Finalement, dans un troisième temps, les dossiers médicaux des dix dernières années (2011-2022), incluant les résultats de nécropsies macroscopique et microscopique, ont été demandés aux institutions répondant au sondage en ligne. Ces rapports ont été envoyés à l'équipe de recherche sous forme d'accès à la plateforme *ZIMS medical* de l'institution, en format PDF (Adobe Inc., San Jose, CA 95110, USA), en format Word ou Excel (Microsoft Office, Redmond, WA 98052, USA), ou par courriel. Selon la langue utilisée par l'institution, les rapports de nécropsie ont été traduits de l'anglais et de l'allemand vers le français.

L'utilisation de ces dossiers médicaux, l'analyse statistique réalisée à partir des données collectées et les résultats de cette analyse sont décrits au Chapitre 3.

2. Distribution

2.1 Distribution des institutions

Des 1200 membres de Species360, 203 institutions zoologiques possédaient des caméléons au moment de l'étude. La distribution par continent de ces zoos et des 975 Chamaeleonidae rapportés, toutes espèces confondues, est résumée dans le Tableau 1.

Tableau 1. Distribution géographique des caméléons gardés dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS (juillet 2021)

Continent	Institutions possédant des caméléons ^a	Nombre de caméléons ^b
Afrique	5 (2,5%)	9 (0,9%)
Asie	17 (8,4%)	91 (9,3%)
Océanie	5 (2,5%)	5 (0,5%)
Europe	124 (61,1%)	692 (71,0%)
Amérique du Nord	49 (24,1%)	175 (17,9%)
Amérique du Sud	3 (1,5%)	3 (0,3%)
Total	203 (100%)	975 (100%)

^a Pourcentages calculés sur le nombre total d'institutions possédant des caméléons (n = 203).

^b Pourcentages calculés sur le nombre total de caméléons gardés en milieu zoologique (n = 975).

La distribution des institutions ayant reçu le sondage en ligne, le nombre et le taux de réponse à ce questionnaire, ainsi que le nombre et le taux de partage de rapports de nécropsie, sont décrits au Tableau 2. Globalement, 26,5% (65/245) des institutions contactées ont répondu au sondage, et 11,8% (29/245) ont partagé des rapports de nécropsie pour contribuer à la présente étude.

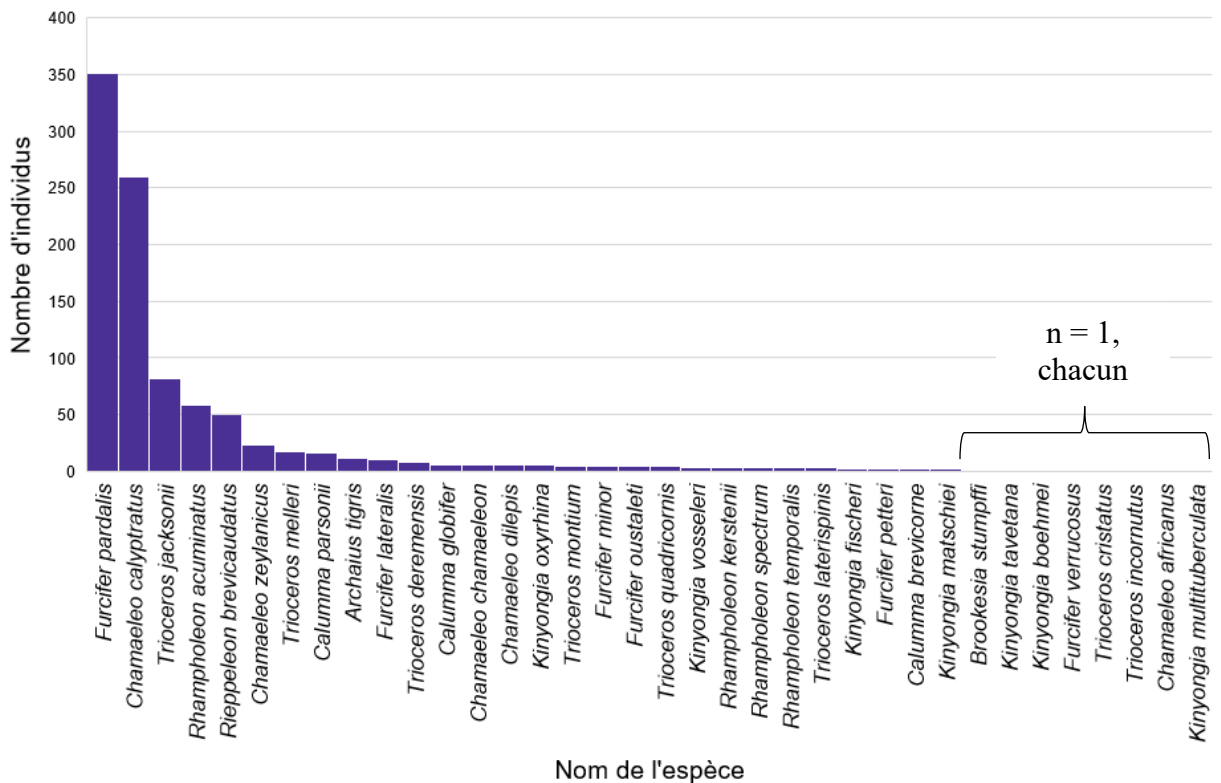
Tableau 2. Distribution des institutions et taux de participation au sondage en ligne et au partage de rapports de nécropsie

Continent	Institutions contactées par courriel (pourcentage du total)	Institutions ayant répondu au sondage en ligne (pourcentage du total)	Institutions ayant partagé des rapports de nécropsie (pourcentage du total)
Afrique	6 (2,4%)	1	0
Asie	18 (7,3%)	5	2
Océanie	6 (2,4%)	1	1
Europe	154 (62,9%)	41	16
Amérique du Nord	57 (23,3%)	17	10
Amérique du Sud	4 (1,6%)	0	0
Total	245 (100%)	65 (26,5%)	29 (11,8%)

2.2 Distribution des espèces

Selon les données librement accessibles sur ZIMS, 975 caméléons étaient gardés dans les zoos utilisant ZIMS en 2021. Ces individus étaient répartis dans 203 zoos distincts. Des 202 espèces de caméléons identifiées, 17,8% (36/202) étaient représentées en milieu zoologique. Huit des 36 espèces (22,2%) gardées au moment de l'étude n'étaient représentées que par un seul individu. La distribution des espèces est représentée à la Figure 1.

Figure 1. Distribution par espèce des caméléons gardés dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS (juillet 2021)



La distribution de 200 espèces de caméléons en fonction de leur statut de conservation et la proportion des espèces de chaque catégorie faisant partie du modèle actuel de garde en captivité des caméléons en milieu zoologique sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3. Distribution des espèces de caméléons gardés dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS selon leur statut de conservation (juillet 2021)

Catégories IUCN	Nombre d'espèces ^a	Nombre d'espèces de ce statut étant gardé en milieu zoologique	Pourcentage des espèces de ce statut étant gardé en milieu zoologique ^b
En danger critique d'extinction	10	1	10%
En danger	42	8	19%
Vulnérable	22	2	9%
Quasi menacée	39	5	13%
Préoccupation mineure	77	20	26%
Données insuffisantes	10	0	0%
Total	200	36	18%

^a Distribution des 200 espèces de caméléons inscrites sur la liste rouge de l'IUCN

^b Pourcentages calculés à partir des données de chaque ligne du tableau

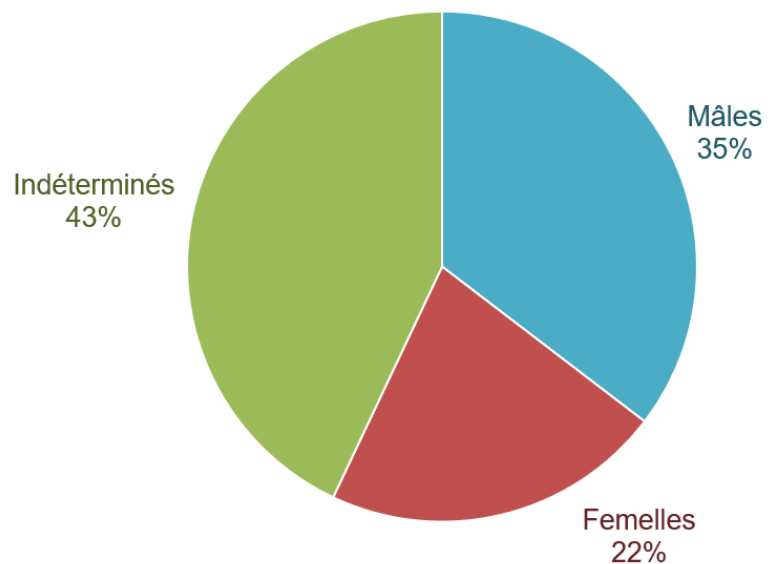
La seule espèce de caméléons inscrite à l'annexe I de la CITES,⁴³ *Brookesia perarmata*, n'est pas présentement gardée en milieu zoologique dans les institutions utilisant ZIMS. Toutes les autres espèces de caméléons, dont les 36 espèces gardées dans les zoos mondialement, sont inscrites à l'annexe II de ce même traité.

2.3 Distribution des sexes

La distribution des sexes des caméléons gardés en milieu zoologique est illustrée à la Figure 2.

Les tests statistiques réalisés par rapport à la distribution des sexes des caméléons gardés en milieu zoologique montrent que les mâles sont plus prévalents que les femelles, quel que soit le continent ($P = 0,01$ à $P < 0.0001$). Le continent n'a pas d'impact sur la proportion des sexes entre les mâles et les femelles.

Figure 2. Distribution des sexes de l'ensemble des espèces de caméléons gardées dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS (juillet 2021)



3. Espérance de vie

L'espérance de vie à la naissance a été estimée pour 11 espèces de caméléons, tous sexes confondus (mâles, femelles et individus de sexe indéterminé), par l'analyse des données historiques de la base de données ZIMS. Les résultats de ces estimations sont colligés dans le Tableau 4.

Tableau 4. Espérance de vie moyenne à la naissance de 11 espèces de caméléons

Espèce ^a	N	Espérance de vie moyenne à la naissance (IC95%) ^b
Caméléon casqué du Yémen (<i>Chamaeleo calyptratus</i>)	2315	2,1 ans (1,9 - 2,2)
Caméléon commun (<i>Chamaeleo chamaeleon</i>)	104	0,8 an (0,6 - 1,1)
Caméléon bilobé (<i>Chamaeleo dilepis</i>)	68	1,1 an (0,8 - 1,5)
Caméléon de Höhnel (<i>Chamaeleo hoehnelii</i>)	92	0,6 an (0,5 - 0,8)
Caméléon à bandes latérales (<i>Furcifer lateralis</i>)	69	0,9 an (0,7 - 1,2)
Caméléon géant de Madagascar (<i>Furcifer oustaletii</i>)	163	1,2 ans (0,9 - 1,5)
Caméléon panthère (<i>Furcifer pardalis</i>)	1765	2,1 ans (2,0 - 2,2)
Caméléon pygmée barbu (<i>Rieppeleon brevicaudatus</i>)	215	1,2 an (1,0 - 1,4)
Caméléon de Jackson (<i>Trioceros jacksonii</i>)	1131	0,9 ans (0,8 - 1,0)
Caméléon de Meller (<i>Trioceros melleri</i>)	158	2,7 ans (2,2 - 3,4)
Caméléon montagnard à deux cornes du Cameroun (<i>Trioceros montium</i>)	93	0,5 an (0,4 - 0,7)

^a Les espèces de caméléons sont notées par ordre alphabétique de leur nom latin

^b IC95% : intervalle de confiance à 95%

De plus, l'espérance de vie moyenne et la longévité atteinte par 5% des individus les plus âgés en fonction du sexe ont pu être déterminées pour sept espèces de caméléons. Ces résultats sont résumés dans le Tableau 5. Les mâles vivent significativement plus longtemps que les femelles chez deux espèces, les caméléons panthères ($P = 0.04$) et les caméléons casqués du Yémen ($P < 0.0001$). Il n'y a pas de différence significative détectable entre l'espérance de vie des mâles et des femelles chez les caméléons de Parson, les caméléons communs, les caméléons géants de Madagascar, les caméléons de Jackson, et les caméléons de Meller.

Tableau 5. Espérance de vie moyenne et longévité atteinte par 5% des individus les plus âgés selon le sexe de sept espèces de caméléons

Espèce ^a	N ^b mâles	N ^b femelles	Espérance de vie moyenne des mâles (IC 95%)	Espérance de vie moyenne des femelles (IC 95%)	Longévité atteinte par 5% des mâles plus âgés	Longévité atteinte par 5% des femelles plus âgées
Caméléon de Parson (<i>Calumma parsonii</i>)	96	129	2.7 yrs (2.1 – 3.3)	2.1 yrs (1.8 – 2.5)	8.0 yrs	6.3 yrs
Caméléon casqué du Yémen (<i>Chamaeleo calypttratus</i>)	1017	1061	2.8 yrs (2.6 – 3.0)	1.9 yrs (1.8 – 2.0)	7.8 yrs	5.3 yrs
Caméléon commun (<i>Chamaeleo chamaeleon</i>)	72	114	1.9 yrs (1.4 – 2.3)	1.5 yrs (1.2 – 1.9)	4.6 yrs	4.0 yrs
Caméléon géant de Madagascar (<i>Furcifer oustaleti</i>)	126	112	1.7 yrs (1.4 – 2.0)	1.6 yrs (1.3 – 1.9)	5.1 yrs	4.8 yrs
Caméléon panthère (<i>Furcifer pardalis</i>)	1036	844	3.0 yrs (2.9 – 3.1)	2.1 yrs (2.0 – 2.2)	8.3 yrs	5.7 yrs
Caméléon de Jackson (<i>Trioceros jacksonii</i>)	378	339	1.7 yrs (1.6 – 1.9)	1.8 yrs (1.6 – 2.0)	5.2 yrs	5.3 yrs
Caméléon de Meller (<i>Trioceros melleri</i>)	72	75	3.3 yrs (2.6 – 4.0)	2.6 yrs (2.0 – 3.2)	8.4 yrs	6.8 yrs

^a Les espèces de caméléons sont notées par ordre alphabétique de leur nom latin

^b N : nombre d'individus inclus dans l'analyse

Des courbes de survie de Kaplan Meier ont pu être extrapolées des courbes de survie par espèce et par sexe pour les sept espèces de caméléons possédant un échantillon de taille suffisante. Ces courbes de survies sont illustrées aux Figures 3, 4, 5, 6, 7, 8 et 9. Les courbes de survie des espèces présentant une différence significative entre l'espérance de vie des femelles et des mâles sont identifiées d'un astérisque.

Figure 3. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons de Parson (*Calumma parsonii*)

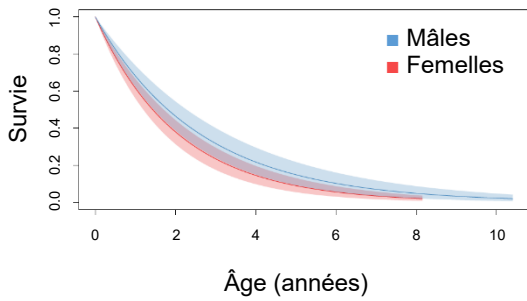


Figure 4. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons casqués du Yémen (*Chamaeleo calytratus*)

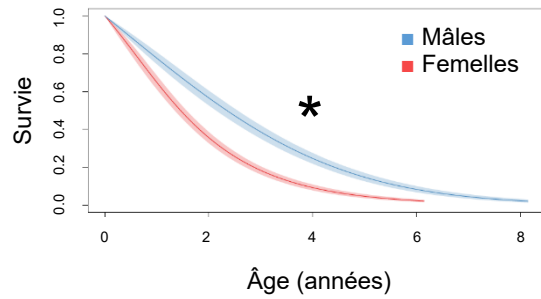


Figure 5. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons communs (*Chamaeleo chamaeleon*)

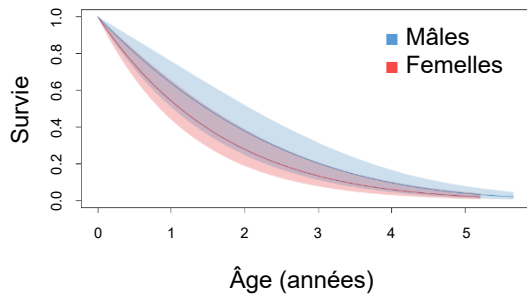


Figure 6. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons géants de Madagascar (*Furcifer oustaleti*)

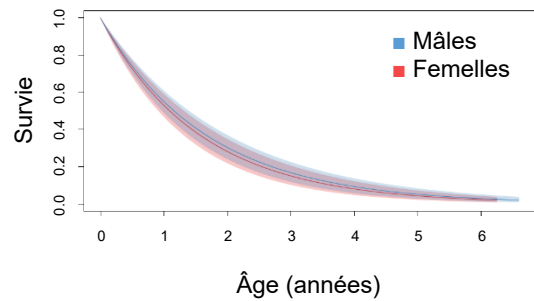


Figure 7. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons panthères (*Furcifer pardalis*)

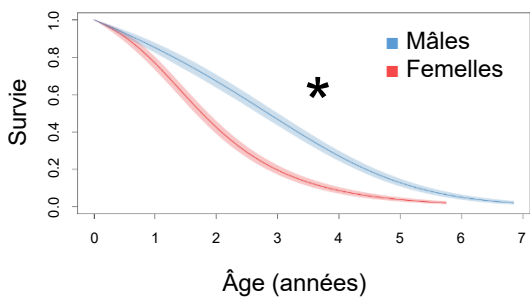


Figure 8. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons de Jackson (*Trioceros jacksonii*)

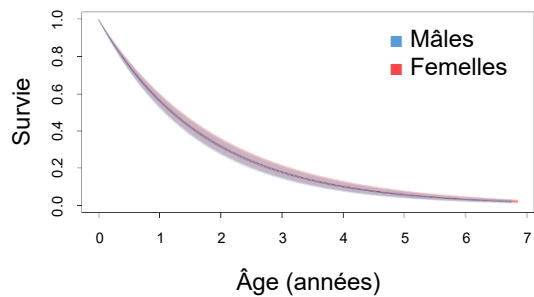
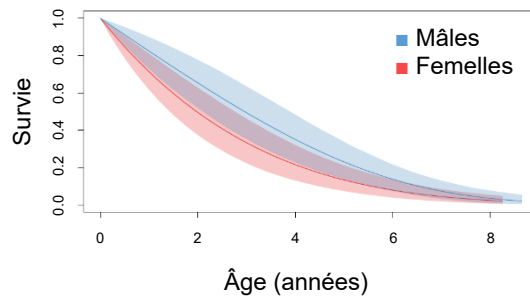


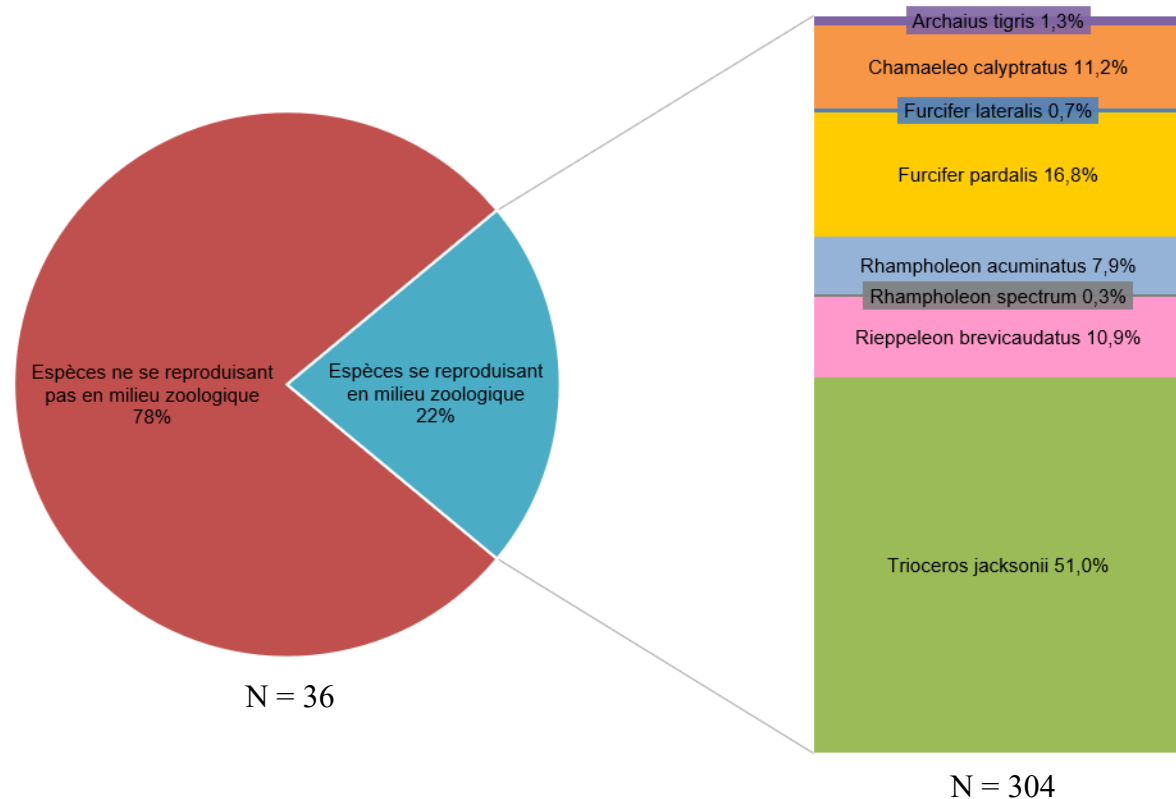
Figure 9. Courbes de survie des mâles et femelles caméléons de Meller (*Trioceros melleri*)



4. Reproduction

Selon les données ZIMS librement accessibles en ligne, 22,2% (8/36) des espèces de caméléons gardées en milieu zoologique s'étaient reproduites en zoo entre juillet 2020 et juillet 2021. Plus de 300 naissances ont été rapportées par les zoos, dont plus de la moitié étaient des caméléons de Jackson (*Trioceros jacksonii*). La répartition par espèce des juvéniles nés entre juillet 2020 et juillet 2021 au sein des zoos membres de ZIMS est résumée à la Figure 10.

Figure 10. Reproduction des espèces de caméléons gardées dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS (juillet 2021)^a



^a Les espèces de caméléons sont notées par ordre alphabétique de leur nom latin

Le sondage en ligne comprenait également une portion sur la reproduction des caméléons en milieu zoologique. Les réponses de ces institutions sont résumées au Tableau 6.

Tableau 6. Données de reproduction de 65 institutions zoologiques^a

Événement	Nombre de zoos ayant observé l'événement	Nombre de zoos n'ayant pas observé l'événement	Nombre de zoos s'abstenant de réponse
Naissances viables déjà rapportées dans le zoo	33 (50,8%)	30 (46,2%)	2 (3,1%)
Tentative de reproduction entre juillet 2020 et juillet 2021	22 (33,8%)	39 (60,0%)	5 (6,2%)
Naissances viables entre juillet 2020 et juillet 2021	8 (12,3%)	52 (80,0%)	5 (7,7%)

^a Pourcentages calculés selon le nombre total d'institutions ayant répondu au sondage (n = 65)

Toutes les institutions ayant obtenu des naissances viables à ce jour, ayant tenté de reproduire des caméléons dans les 12 derniers mois ou ayant obtenu des naissances viables dans les 12 derniers mois étaient situées en Afrique, en Europe et en Amérique du Nord.

5. Régie

5.1 Conditions environnementales

Dans le sondage en ligne, les institutions pouvaient décrire brièvement les conditions de régie dans lesquelles sont gardés leurs caméléons, incluant le type d'habitat, les modèles de cohabitation, l'hygrométrie et la température des exhibits.

5.1.1 Habitats

Le Tableau 7 résume les types d'habitats utilisés par les institutions zoologiques pour l'hébergement de leurs caméléons. Des 65 institutions ayant répondu au sondage en ligne, 61 ont fourni des renseignements à ce sujet, tandis que quatre institutions se sont abstenues de répondre à cette partie du questionnaire. Un total de 82 habitats a été décrit par les zoos participants.

Tableau 7. Types d'habitats utilisés par 61 institutions zoologiques pour la garde en captivité de leurs caméléons entre 2021 et 2022

Type d'habitat	Nombre d'institutions utilisant ces habitats (pourcentage du total)
Aquarium (parois de verre)	2 (2,4%)
Flexarium (parois en grillage/filet)	20 (24,4%)
Habitat ouvert (ex : serre)	8 (9,8%)
Terrarium (au moins une paroi de verre)	52 (63,4%)
Total	82 (100%)

5.1.2 Cohabitation

Des 65 institutions participantes, 61 ont fourni des renseignements sur la cohabitation et la garde en captivité de leurs caméléons, alors que quatre n'ont pas fait mention de ces informations. Au total, 45,9% (28/61) des zoos gardaient leurs caméléons en cohabitation avec d'autres caméléons ou avec d'autres espèces animales, alors que 54,1% (33/61) des zoos gardaient plutôt leurs caméléons individuellement, dans des habitats isolés des autres animaux de leur collection. Un total de 47 habitats a été décrit par les zoos au travers du sondage en ligne. Le Tableau 8 résume les types de cohabitation employés par les zoos au moment de l'étude.

Tableau 8. Types de cohabitation employés par 61 institutions zoologiques pour la garde en captivité de leurs caméléons entre 2021 et 2022

Type de cohabitation	Nombre d'institutions utilisant ce modèle de garde en captivité
Cohabitation entre femelles caméléons de la même espèce	9 (19,1%)
Cohabitation entre mâles caméléons de la même espèce	2 (4,3%)
Cohabitation entre femelles et mâles caméléons de la même espèce	10 (21,3%)
Cohabitation entre caméléons de sexes et espèces différents	3 (6,4%)
Cohabitation multi-espèces	23 (48,9%)
Total	47 (100%)

Parmi les espèces cohabitant avec les caméléons des institutions participantes dans les expositions multi-espèces se retrouvaient des amphibiens (*Dyscophus* sp., *Mantella* sp.), des tortues (*Astrochelys radiata*, *Pyxis planicauda*, *Pyxis arachnoides*, *Stigmochelys pardalis*), des geckos (*Phelsuma grandis*, *Uroplatus fimbriatus*, *Uroplatus giganteus*, *Uroplatus henkeli*), ainsi que certains oiseaux, notamment des inséparables de Fisher.

5.1.3 Hygrométrie et température

Les paramètres d'hygrométrie et de température des habitats de caméléons des institutions participantes sont présentés au Chapitre 3.

5.2 Alimentation et suppléments

Dans le sondage en ligne, six questions sur les méthodes d'abreuvement et les pratiques alimentaires de leurs caméléons étaient posées aux institutions participantes.

5.2.1 *Abreuvement*

Des 65 participants, 89,2% (58/65) ont fourni des renseignements quant aux méthodes d'abreuvement des caméléons de leur institution, alors que 10,8% (7/65) se sont abstenus de répondre à cette section du questionnaire. Les techniques d'humidification de l'environnement et d'abreuvement des caméléons ont été divisées en quatre grandes catégories par les auteurs : la brumisation (gouttelettes très fines, vapeur, brume), la vaporisation (gouttelettes plus substantielles, pulvérisation, « spray »), le goutte-à-goutte et les bols d'eau. Plus de la moitié (51,7%, n = 30) des institutions ayant répondu à cette portion du questionnaire mentionnaient utiliser deux méthodes ou plus dans les habitats de leurs caméléons. Les résultats obtenus au sujet de l'utilisation des méthodes d'abreuvement et d'humidification sont colligés au Tableau 9.

Tableau 9. Méthodes d'humidification de l'environnement et d'abreuvement utilisées par 58 institutions zoologiques pour la garde en captivité de leurs caméléons entre 2021 et 2022

Méthode d'humidification ou d'abreuvement	Nombre et proportion d'institutions ayant recours à cette méthode dans les habitats de leurs caméléons ^a
Brumisation	9 (15,5%)
Vaporisation	45 (77,6%)
Goutte-à-goutte	19 (32,8%)
Bol d'eau	20 (34,5%)

^a Pourcentages calculés en fonction du nombre total d'institutions ayant répondu à cette portion du sondage en ligne (n = 58).

Parmi les 20 institutions qui avaient recours à des bols d'eau dans des habitats de caméléons, 18 mentionnaient utiliser également une autre méthode d'humidification de l'environnement, alors que deux zoos ont fait mention des bols d'eau comme seule source d'abreuvement.

5.2.2 Alimentation

Des 65 participants, 87,7% (57/65) ont fourni des renseignements quant aux types de proies données aux caméléons de leur institution, alors que 12,3% (8/65) se sont abstenus de répondre à cette section du questionnaire. Les résultats obtenus au sujet de l'alimentation des caméléons au sein des zoos participants sont colligés au Tableau 10. Considérant que certaines institutions ont décrit les diètes individuelles de plusieurs espèces de caméléons, 62 entrées différentes, représentant un total de 190 mentions de proies, ont été incluses dans l'étude.

Tableau 10. Types de proie utilisés par 57 institutions zoologiques pour l'alimentation de leurs caméléons entre 2021 et 2022

Type de proies	Nombre et pourcentage d'institutions utilisant ces proies dans la diète de leurs caméléons
Blattes (<i>Blaberus</i> sp., <i>Blaptica dubia</i> , <i>Gromphadorhina portentosa</i>)	24 (12,6%)
Orthoptères (grillons, criquets, sauterelles)	83 (43,7%)
Vers (vers de farine, vers de cire, vers à soie, vers de beurre, vers Goliath, « <i>Superworms</i> », vers Phoenix)	54 (28,4%)
Mouches	7 (3,7%)
Autres insectes	10 (5,3%)
Aliments frais (fruits et légumes)	4 (2,1%)
Proies vertébrées (souris « <i>pinkie</i> »)	8 (4,2%)
Total	190 (100,0%)

La fréquence rapportée des repas variait entre une fois par jour et une fois par semaine. Certaines institutions mentionnaient changer la fréquence des repas en fonction des proies données. Des 62 entrées considérées, 16,1% (10/62) ne mentionnaient qu'un seul type de proies, tandis que 83,9% (52/62) des zoos participants utilisaient deux types de proies ou plus.

5.2.3 Supplémentation

Des questions sur les méthodes de supplémentation des aliments pratiquées en milieu zoologique auprès des caméléons ont été posées aux institutions participantes à travers le sondage en ligne. Les résultats obtenus sont résumés dans le Tableau 11.

Tableau 11. Méthodes de supplémentation de la diète des caméléons utilisées par 58 institutions zoologiques entre 2021 et 2022^a

Pratique de supplémentation	Nombre et pourcentage d'institutions procédant à cette pratique	Nombre et pourcentage d'institutions ne procédant pas à cette pratique
Saupoudrage des proies (« <i>Dusting</i> »)	57 (98,3%)	1 (1,7%)
Alimentation des proies avec des aliments riches ou des suppléments (« <i>Gut-loading</i> »)	31 (53,4%)	27 (46,6%)

^a Pourcentages calculés selon le nombre total de zoos ayant répondu à ces questions (n = 58)

Parmi les 57 institutions procédant au saupoudrage des proies avec des suppléments avant l'alimentation, 54 ont fourni des informations sur les suppléments utilisés dans la diète de leurs caméléons. Parmi les plus fréquemment utilisés se retrouvent le Repti Calcium avec ou sans vitamine D (Zoo Med Laboratories Inc., 3650 Sacramento Drive, San Luis Obispo, CA 93401, USA), le ReptiVite avec ou sans vitamine D (Zoo Med Laboratories Inc., 3650 Sacramento Drive, San Luis Obispo, CA 93401, États-Unis), le Nutrobal (Vetark, Unit 2-3 Barfield Close, Winchester, SO23 9SQ, Royaume-Uni), le Korvimin (Economic cooperative of German veterinarians eG, Siemensstraße 14, 30827 Garbsen, Allemagne) et les suppléments Repashy (Stargazer Exotics, 306 JJ Thiessen Way, Saskatoon, SK S7K 5P4, Canada). Plus de 90% des suppléments mentionnés par les zoos participants contenaient du calcium, alors que 57% des produits alimentaires utilisés contenaient de la vitamine D. La vitamine A était présente dans 43% des produits mentionnés par les institutions dans le sondage en ligne.

Parmi les 31 institutions procédant à l'alimentation des proies avec des suppléments ou une diète riche en vitamines et minéraux avant d'être données à leurs caméléons, 28 ont fourni des informations sur les suppléments utilisés à ces fins. Plusieurs institutions nourrissent les proies (crickets, vers, insectes) avec une diète maison, incluant généralement des végétaux, des os de seiche et des suppléments commerciaux. Parmi les suppléments commerciaux les plus souvent utilisés pour l'alimentation des proies se retrouvent le Repashy Superload (Stargazer Exotics, 306 JJ Thiessen Way, Saskatoon, SK S7K 5P4, Canada), les produits Mazuri Bette Bug Gut Loading Diet et High Calcium Gut Loading Diet (Mazuri Exotic Animal Nutrition, PO Box 66812, St. Louis, MO 63166, États-Unis), et les produits Fluker's High Calcium Diets (Fluker Farms, 1333 Plantation Ave, Port Allen, LA 70767, États-Unis).

6. Causes de mortalité (sondage en ligne)

Les informations colligées dans cette section du mémoire sont reliées à la détermination des causes de mortalité, et comprennent les données n'ayant pas été incluses dans l'article soumis à un journal de médecine vétérinaire (Chapitre 3). Elles sont donc complémentaires aux données abordées au prochain chapitre.

Des 65 zoos participant à l'étude, 29 (44,6%) ont accepté de partager les rapports de nécropsie des caméléons de leur institution avec l'équipe de recherche. Au total, 412 rapports de nécropsie ont été récoltés et analysés afin d'en déterminer les causes de mortalité principales. La distribution des espèces de caméléons représentées dans ces rapports est décrite à la Figure supplémentaire 2 (voir Supplemental Figure 2, Chapitre 3).

Dans le sondage en ligne, neuf questions visaient à déterminer les causes de mortalité des caméléons en milieu zoologique, ainsi que la prévalence de mortalités reliées aux maladies rénales et aux maladies du système reproducteur. La question concernant les causes de mortalité était une question ouverte (voir Supplemental Figure 1, Chapitre 3). Dix-huit institutions ont décrit les causes de mortalité de leurs caméléons dans les dix dernières années. Les causes de mortalité rapportées incluaient les problèmes reproducteurs comme la dystocie et la rétention d'œuf ($n = 8$); les causes naturelles et l'âge ($n = 7$); les maladies rénales ($n = 4$); les problèmes de régime, l'hyperparathyroïdie secondaire d'origine nutritionnelle et l'obésité ($n = 6$); les traumatismes et la prédation ($n = 3$); les maladies infectieuses ($n = 2$); une cardiomyopathie ($n = 1$) et une lésion néoplasique ($n = 1$).

Par ailleurs, 51/65 (78,5%) institutions ont décrit la prévalence de maladies rénales chez leurs caméléons dans les cinq dernières années en remplissant le questionnaire. De ces zoos, 21/51 (41,2%) ont rapporté des maladies rénales. Plus précisément, 15 institutions ont rapporté un à deux cas de caméléons avec lésions rénales au moment de la mort dans les cinq dernières années, tandis que six institutions ont rapporté trois ou quatre cas de maladie rénale pour cette même période. Des 65 institutions ayant participé à l'étude, 21,5% (14/65) n'ont pas déclaré la prévalence de maladies rénales chez les caméléons de leur institution dans le sondage en ligne.

Finalement, les participants ont été invités à préciser le nombre de caméléons morts de maladies du système reproducteur à leur institution dans les cinq dernières années. Douze des 65 institutions participantes (18,5%) n'ont pas déclaré cette information, et 28/65 (43,1%) n'ont rapporté aucune

mortalité reliée à une lésion du système reproducteur pour cette période. Des 25/65 institutions (38,5%) ayant rapporté au moins une mortalité reliée au système reproducteur, 18 zoos ont estimé le nombre de mortalités entre un et deux dans les cinq dernières années, tandis que sept zoos ont décrit trois mortalités ou plus reliées à la reproduction entre 2017 et 2022.

Ces résultats soutiennent ceux obtenus lors de l'étude des causes de mortalité principales des caméléons, réalisée par l'analyse de rapports de nécropsie de caméléons morts entre 2011 et 2022. Les résultats de cette étude sont décrits au Chapitre 3 (article soumis au *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*). Considérant la similarité des résultats obtenus par le sondage en ligne et par l'analyse des rapports de pathologie, les conclusions se rapportant aux causes de mortalité seront présentées dans le chapitre suivant, et ne seront pas abordées au Chapitre 4 (discussion générale).

CHAPITRE 3 – ARTICLE SCIENTIFIQUE

Evaluation of mortality causes and prevalence of renal lesions in zoo-housed chameleons: 2011-2022

Article publié dans le Journal of Zoo and Wildlife Medicine en juin 2024

Amélie Aduriz

Isabelle Lanthier, DVM, DES, DACVP

Stéphane Lair, DVM, DVSc, DACZM

Claire Vergneau-Grosset, DVM, IPSAV, CES, DACZM

From the Faculté de médecine vétérinaire, Département des sciences cliniques (Aduriz, Lair, Vergneau-Grosset) and the Département de pathologie et microbiologie (Lanthier), Université de Montréal, 3200 Rue Sicotte, Saint-Hyacinthe, QC, J2S 2M2 Canada.

Contribution des auteurs

AA et CVG ont contribué à la conception du plan de l'étude, ainsi qu'à la collecte des données. Sous la supervision de CVG, AA a procédé à l'analyse et l'interprétation des résultats, que IL et SL ont révisées. AA a écrit le brouillon initial de l'article, et tous les auteurs ont participé à la révision et à l'approbation de sa version finale.

1. Abstract

Abstract: Of the 202 species of Chamaeleonidae, 38.6% are globally threatened. Currently, nearly a thousand individual chameleons from 36 different species are kept in zoological institutions worldwide. The objectives of this study were to assess the main mortality causes of chameleons in zoological institutions, the prevalence of renal lesions at necropsy, and the environmental factors associated with renal lesions. An online survey was sent to 245 zoological institutions worldwide to collect information about species and sex distribution, necropsy results, and husbandry parameters. Necropsy reports of the last ten years were requested from participating institutions (n = 65) when available. Mortality causes were classified into three categories (open diagnosis, infectious, and non-infectious), and non-infectious causes were further subdivided into 7 categories (renal, reproductive, myoarthroskeletal, digestive, ophthalmologic, denutrition/multisystemic, and neoplastic). The prevalence of renal lesions was recorded. Multiple linear regression models were used with the prevalence of renal diseases as the dependent variable, and exhibit minimum and maximum hygrometry, exhibit highest and coolest temperature, as well as minimum, mean and maximum hygrometry of the geographical area as independent variables, combining all chameleon species with similar environmental requirements. Results were obtained for 14 species (n = 412 individuals). The main mortality causes were infectious (46.8%), non-infectious renal (11.4%), and non-infectious reproductive (10.7%) diseases, with all cases of fatal reproductive diseases reported in females. Of the individuals having undergone renal histopathology, 41.7% displayed renal lesions. There was a tendency towards higher renal lesion prevalence in zoos located in areas with lower mean hygrometry (P=0.05). Further research studies about infectious, renal and reproductive diseases of Chamaeleonidae are warranted.

2. Introduction

As of today, 202 species of chameleons have been identified. About 42% of all chameleon species are endemic to Madagascar.^{87,230} Due to environmental and anthropological threats, including global warming and habitat destruction, more than 50% of Malagasy chameleon species are currently considered threatened by the International Union for Conservation of Nature.^{45,109} All 12 genera of Chamaeleonidae are listed in the second appendix of the Convention on International Trade in Endangered Species (CITES), and one species, the Antsingy leaf chameleon (*Brookesia perarmata*), is listed in the first appendix.⁴³ To support conservation goals, breeding programs have been established in zoological institutions for certain chameleon species.^{33,74,183,245} Research about reptile species accounts for only 4% of all research projects published by zoological institutions in the last two decades.⁷² Thus, additional studies, including reviews of mortality causes, are needed to improve the care of reptiles and specifically chameleons in zoological institutions to ensure survival and successful breeding.

A survey conducted among private reptile owners showed that the survival rate during the first year of acquisition was lower for chameleons (71.8%) than for other reptiles (from 90.3% to 98.1%).¹⁸⁶ The high reported death rates of chameleons in the pet trade have been attributed to their low stress tolerance, and specific need for running water to promote drinking.^{225,232} However, no data is currently available regarding the viability of chameleon populations in zoological institutions. In addition, there is currently no large scale published study regarding the leading causes of mortality of free-ranging chameleons; only a few cases are described.⁸⁵ Thus, defining the leading causes of mortality of these species could potentially increase the quality of life and life expectancy of chameleons under human care as it may highlight the main areas of improvement of the current chameleon captivity and care models.

The goals of this study were: 1) to describe the primary mortality causes of chameleons in zoological institutions, 2) to evaluate the prevalence of renal lesions at necropsy, and 3) to investigate environmental factors associated with renal lesion prevalence in chameleons under human care. The broader objective was to help guide future research on these species and formulate recommendations regarding screening tests for chameleons, while participating in the conservation efforts of zoos and aquariums (hereafter referred to as “zoos”).

The main hypotheses related to this research project were that renal and reproductive diseases would be the most common causes of mortality of chameleons in zoos,^{47,123,215} and that lower exhibit hygrometry would be associated with a higher prevalence of renal lesions in Chamaeleonidae.

3. Materials and methods

Zoological institutions that housed or had housed Chamaeleonidae over the past 10 years (2011-2022) were contacted for inclusion in the study. The contact details of each zoo were obtained via the Zoological Information Management System (ZIMS) database (Species360, Minneapolis, MN 55425, USA) or through the institution's website. Online surveys (Google Forms, Google, Mountain View, CA 94043, USA) were sent to 245 zoos between September 2021 and September 2022. Depending on the language used at the institution, the survey was sent in English, French, or Spanish. Information about chameleon species and sex distribution, reproduction, necropsy results, and husbandry parameters were collected through the survey (Supplemental Figure 1). Husbandry parameters included temperatures at the coolest and hottest point of the enclosure, minimum, mean and maximum registered hygrometry in the enclosure, and feeding habits. In addition, the minimum, mean and maximum hygrometry of each zoo geographical area was retrieved from two databases, World Weather and Climate Information,²⁴¹ and WorldData.info,²⁴² respectively. As part of the online survey, the participants were also asked to specify which *post mortem* tests were usually performed on chameleons from their zoo. A necropsy was defined as any macroscopic *post mortem* examination involving tissue dissection and evaluation of the cause of death. In a zoological setting, it is not unusual for attending veterinarians to perform macroscopic *post mortem* examination and to send preserved tissue on selected cases to a pathologist without performing ancillary tests such as culture and PCR. Thus, the protocols regarding *post mortem* analysis were evaluated. Specifically, the number of institutions performing systematic necropsies (ie. a necropsy was performed on all individual chameleons), selective necropsies (ie. a necropsy was performed in selected cases of chameleons to investigate the cause of death), systematic histological analysis (ie. histological analysis was performed on all chameleons after death) and selective histological analysis (ie. histological analysis was performed only when the cause of death could not be determined from macroscopic

examination) was recorded. A necropsy was recorded as “systematic” on a population level, regardless of the number of organs evaluated. Additional tests submitted on each individual were also recorded.

Medical records, including necropsy and histopathology results, were requested from the institutions responding to the online survey. These medical records were sent through ZIMS Medical access, PDF files (Adobe Inc., San Jose, CA 95110, USA), Word or Excel files (Microsoft Office, Redmond, WA 98052, USA), or via email. Necropsy reports were translated from English or German to French. The cause of mortality of each case was determined by reviewing the necropsy report and identifying the most likely cause of death listed by the veterinary pathologist. When this information was unavailable, the authors determined the most probable cause of death based on the histologic lesions described and clinical signs reported prior to death. Each report was reviewed independently by at least two of the authors, including a pathologist (IL). In case of discrepancy in the classification of the case, the pathologist classification was used as the gold standard. Mortality data were classified into the following mutually exclusive categories: open diagnosis, infectious or non infectious. Non-infectious causes were further classified into 7 categories: digestive, myoarthroskeletal, renal, reproductive (in females and males), ophthalmologic, multisystemic/denutrition (toxic and cachexia of unknown origin), and neoplastic causes. Whenever histologic lesions were in favor of an infectious etiology, with or without a precise etiologic agent identification, the case was classified under infectious disease. Cases of hyperparathyroidism and cases of maxillary fractures were classified as a non-infectious myoarthroskeletal cause of death. Any case of maxillary osteomyelitis secondary to stomatitis, without fracture, was classified as an infectious cause of death. Cases of mortality due to a neoplasia were classified as ‘neoplastic’ regardless of the organ of origin. Whenever a case could not be classified, either for a lack of final diagnosis or because the cause of death was different from those previously listed (e.g., old age, post-surgical complication, or preventive euthanasia), the case was classified in the open diagnosis category. In infectious cases, etiologic agents were considered as the suspected cause of death based on the report of the primary pathologist on the case and when supported by the reviewing pathologist (IL). In all cases where renal histopathology was evaluated, the presence or absence of significant renal lesions was also recorded, independently of the main cause of death. The significance of described renal lesions was confirmed in each case by a pathologist (IL) based on the severity and extension of the lesions.

For each institution, the renal lesion prevalence was calculated as the number of individuals diagnosed with significant renal lesions divided by the number of necropsy reports with histologic evaluation of the kidney from the same institution, after exclusion of mountain chameleons (*Trioceros jacksonii*, *Trioceros montium*, *Trioceros quadricornis*), which have lower temperature requirements than other chameleon species included in this study. An overall renal lesion prevalence encompassing all zoos was also calculated using the total number of individuals with renal lesions divided by the total number of necropsy reports with renal histology available for review.

Data from the surveys and medical records were entered in a standardized database for descriptive statistical analysis. Data were analyzed using a statistical software (R version 4.2.1, R Core Team (2022), Vienna, Austria). A Fisher exact test was conducted to evaluate whether the survey response rate varied among continents. To evaluate the association between various environmental parameters and the prevalence of renal disease on *post mortem* reports, multiple linear regression models were used with the prevalence of renal lesions as the dependent variable and enclosure minimum and maximum hygrometry or enclosure temperature range, as well as minimum, mean and maximum hygrometry of the geographical area as independent variables. When an association was significant, the environmental parameter analyzed was considered as a predisposing factor for renal disease. The *P* value was set at 0.05.

4. Results

4.1 Response rate

The geographical distribution of ZIMS-registered zoos housing chameleons and the response rates by continent are reported in Table 12. No significant difference was found in the response rate among continents ($P = 0.92$).

Eight zoos notified the authors that they were not eligible for this study, either because they were not currently housing chameleons, indicating an outdated ZIMS entry, or because they could not access the requested data. Three zoos declined participation in this study. Of all zoos contacted, 26.5% (65/245) answered the survey. Of these, 29 zoos shared their necropsy reports, representing 11.8% (29/245) of the total number of initially contacted zoos. A total of 412 pathology reports

from 14 chameleon species (plated leaf chameleon (*Brookesia stumpffi*), brown leaf chameleon (*Brookesia superciliaris*), other *Brookesia* spp., Parson's chameleon (*Calumma parsonii*), veiled chameleon (*Chamaeleo calyptratus*), common chameleon (*Chamaeleo chamaeleon*), carpet chameleon (*Furcifer lateralis*), Oustalet's chameleon (*Furcifer oustaleti*), panther chameleon (*Furcifer pardalis*), bearded leaf chameleon (*Rieppeleon brevicaudatus*), Jackson's chameleon (*Trioceros jacksonii*), Meller's chameleon (*Trioceros melleri*), Cameroon mountain two-horned chameleon (*Trioceros montium*), and four-horned chameleon (*Trioceros quadricornis*)) were reviewed. The chameleon species distribution is summarized in Supplemental Figure 2. The most represented species were panther chameleons (n = 226), and veiled chameleons (n = 74). Necropsy reports were available for 176 females, 200 males and 36 individuals of undetermined sex.

4.2 Post mortem tests

Of the 65 zoos that completed the survey, 73.8% (48/65) of the participating institutions performed systematic necropsies on chameleons, 21.5% (14/65) did not perform necropsies or performed selective necropsies only if the cause of death was unknown, and 4.6% (3/65) did not disclose their protocols regarding necropsy. Additionally, 35.4% (23/65) of the participants performed systematic histological analysis on dead chameleons, 56.9% (37/65) submitted organs only when indicated (e.g., when the cause of mortality could not be identified at gross necropsy, when a precise diagnosis was needed, and when the body was in good condition) or did not perform histological tests, and 7.7% (5/65) did not disclose the frequency of histological analysis on chameleons.

Regarding additional *post mortem* tests performed, 52.3% (34/65) of the participating institutions did not submit any additional tests as only formalin-preserved tissue was obtained on macroscopic necropsy. Of the 31 zoos that did mention additional *post mortem* tests, 67.7% (21/31) performed fecal examination, 48.4% (15/31) performed fungal culture, 19.4% (6/31) performed bacterial culture, 25.8% (8/31) performed targeted molecular testing, 19.4% (6/31) performed immunohistochemistry, and 19.4% (6/31) performed other tests such as *post mortem* medical imaging, or hematology. These additional tests were not performed on all cases but only if deemed relevant for the case based on the clinical history or histologic analysis.

4.3 Mortality causes

Mortality causes were determined based on histopathology in 29 zoos sharing their necropsy reports. The main mortality causes are reported in Figure 11.

The leading cause of mortality was infectious, encompassing 46.8% (193/412) of the reports. Septicemia, stomatitis, pneumonia, hepatitis, nephritis, and enteritis were the most common diagnoses among infectious diseases. Death associated with stomatitis of various grades, including maxillary osteomyelitis, was reported in 38 cases, representing 19.7% (38/193) of infectious cases. A precise etiologic agent was identified by culture or molecular testing in 43.0% (83/193) of the cases classified into the infectious category. The most frequently identified agents in infectious-related chameleon deaths are reported in Table 13. A suspected agent was mentioned in 10.9% (21/193) of all infectious cases without further investigation. Moreover, 15.0% (29/193) of the infectious cases included partial information regarding the agent responsible for the chameleon's death (e.g., morphological description, membrane characteristics, response to staining), and 31.1% (60/193) of reports did not disclose information regarding the infectious agents' identification or appearance. Of the 31 bacterial-related deaths for which a precise etiology could be identified, 61.3% (19/31) reported more than one agent in the necropsy report. Almost a third (n = 112, 27.2%) of the 412 necropsy reports also included a mention of parasitosis, whether it was related to the cause of death or an incidental finding. Most cases of parasitic-related deaths (33/46, 71.7%) included more than one type of parasite. Among protozoan parasites, amoeba, *Blastocystis* spp., *Choleoecimeria* spp. *Isospora* spp. and other coccidia were reported, although their contribution to fatalities is unknown. Among metazoan parasites, trematodes and nematodes such as *Ascarida* spp., *Foleyella* spp., strongylids, and oxyurids were reported. The main organs affected by parasites were the digestive tract, liver, biliary tract and lungs, with occasional locations in the kidneys and heart.

The second most common cause of mortality was non-infectious renal disease, encompassing 11.4% (47/412) of the reports. Of the necropsy reports classified as renal-related deaths, 70.2% (33/47) included more than one type of histological lesion, for a total of 90 entries. The renal histological lesions causing fatalities are summarized in Table 14. The most frequently reported changes were degenerative lesions including interstitial fibrosis and glomerular sclerosis (n = 26), and the accumulation of crystalline material including renal gout and nephrocalcinosis (n = 36).

As only cases of non-infectious renal mortality were considered in this analysis, the inflammatory lesions mentioned in Table 14 are not linked to an infectious process, and were always associated with another type of lesion (degenerative, renal gout) in the studied necropsy reports. An additional case of renal adenocarcinoma metastasized to the vertebrae and ribs was reported in this dataset (accounting for a total of 2 cases of renal adenocarcinomas), which was classified as a multisystemic neoplasm. Among individuals with available renal histopathology and regardless of the main cause of death, 41.7% (121/290) of the chameleons displayed renal lesions at necropsy.

The third most common cause of mortality was non-infectious reproductive disease, corresponding to 10.7% (44/412) of the reports. The most reported reproductive problems in females were dystocia, pre-ovulatory stasis, salpingitis and egg-yolk coelomitis. Other findings included oophoritis, ovarian abscesses and hemorrhages, as well as follicular necrosis. All necropsy reports classified as “reproductive-related deaths” were from female chameleons. In male chameleons, two cases of testicular seminomas were reported as fatal reproductive problems, but classified as neoplastic. An additional case of seminoma was reported as an incidental finding unrelated to the cause of death (case classified as non-infectious multisystemic/denutrition).

4.4 Association between husbandry parameters and renal disease prevalence

Of all participants, 81.5% (53/65) provided information about the temperature of the exhibits in the survey, and 18.5% (12/65) of all participants did not disclose husbandry data. As three institutions described the temperature ranges from at least two different habitats, 62 data entries were included in the study. Among all responding zoos, the mean temperature at the cooler end of chameleon exhibits was 22°C (72°F), and the mean temperature at the warmer end was 31°C (88°F). In addition, 67.7% (44/65) of all responding zoos provided either minimal, mean and/or maximal hygrometry value for their chameleon exhibits, whereas 32.3% (21/65) institutions did not specify these husbandry parameters because the hygrometry was not measured. Overall, 43 entries were included for minimal exhibit hygrometry, 20 entries were included for mean hygrometry, and 42 entries were included for maximal exhibit hygrometry. The mean minimal hygrometry was 52%, the overall mean hygrometry was 65%, and the mean maximal hygrometry was 82%. In the survey, eight institutions commented that hygrometry varied substantially in habitats, mainly in relation to the time of the day, the season, and the time elapsed since the last spraying of the exhibit.

Among the environmental parameters investigated, none of the exhibit parameters were significantly associated with the prevalence of renal lesions in chameleons. There was a tendency towards higher prevalence of renal lesions in geographical areas with lower mean hygrometry ($P = 0.05$, Figure 12) and lower minimum hygrometry ($P = 0.08$). Therefore, these parameters could potentially represent predisposing factors for renal disease in chameleons.

5. Discussion

This study is the most comprehensive performed to date about the population of Chameleonidae in zoos. However, one of the limitations encountered in this study is the limited response rate. Previous retrospective reviews on the causes of mortality of mammal and avian species achieved a response rate between 31% and 90%.^{163,164,203,229,240,244} The response rate of this project was similar to that of other retrospective studies investigating the causes of mortality of zoo-housed mammals,^{131,223} but remains on the lower end of the response rate range. However, although no South American zoo responded to the survey, no significant difference was found in the response rate among continents. In addition, a recruitment bias is possible, as institutions with the best husbandry protocols and medical standards may be more inclined to contribute to the study. Still, the results of this study remain valid, as the goal was to detect areas of potential improvement in institutions that already thrive to provide the best care to these endangered species. Another limitation encountered in this retrospective study was a small number of outdated records in ZIMS, and the limited information included in certain necropsy reports. Incomplete medical records are an inherent limitation of retrospective studies. Moreover, the classification of mortality causes was based on each case's veterinary pathologist interpretations of the macroscopic and histologic lesions observed at necropsy, and the diagnoses listed on the reports could not be evaluated nor confirmed by the authors.

Only 14 of the 202 chameleon species were represented in this study. According to the ZIMS database, 36 species of Chamaeleonidae are currently kept in zoos.²¹¹ This limited species representation could be related to the popularity of some species, such as veiled chameleons and panther chameleons, due to the ease of breeding these species.

Infectious diseases were the leading cause of chameleon deaths in the present study. When reviewing the scientific literature, chameleons' most commonly reported health conditions were nutritional problems such as metabolic bone disease, hypovitaminosis and hypervitaminosis,^{25,26,39,78,138,141,214} renal diseases,^{112,113,155,214} reproductive diseases,^{20,47,57,175} and infectious diseases caused by bacterial,^{15,140,160,212} viral,^{13,103,108,119,173} mycotic,^{93,171,196,197,204} and parasitic agents.^{68,216,219} The results of this study are consistent with those of other research projects in reptiles, in which infectious diseases were either the most or one of the most frequent mortality causes in zoo herpetological collections.^{15,39,153,202} A previous study about chameleons in a single zoo detected similar infectious agents as the present study, including *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Aeromonas*, and *Providencia* spp.¹⁵ In the present study, *Pseudomonas* was also the most commonly isolated genus of bacteria, followed by *Enterococcus* spp. The high prevalence of infectious diseases could potentially be associated with the husbandry parameters of chameleons, as many of these species require high hygrometry and temperature environments. In the wild, chameleons' habitats can reach annual high temperature averages of 25°C (77°F) to 32°C (90°F), and hygrometry values of more than 70%.^{106,150,237,242} Many pathogens thrive in these conditions and some can remain infective in the absence of a host.^{22,44,59,221} Among infectious causes of death, infectious stomatitis was particularly prevalent, causing fatality through anorexia or progression to osteomyelitis of the mandible. Similar to Agamidae, Chamaeleonidae display acrodont teeth, which could predispose them to stomatitis. While nutritional contributing factors such as feeding fruits have been identified in bearded dragons (*Pogona vitticeps*),¹⁵⁹ factors predisposing to this condition have not been investigated in Chamaeleonidae. A limitation of this retrospective study is that it was often difficult to determine all factors leading to a cluster of cases of an infectious disease in chameleons, as necropsy reports rarely included a detailed history. Thus, predisposing factors such as husbandry problems and stress-related immunosuppression, as reported in previous case reports,¹⁷³ could not be evaluated. Most participating zoos performed *post mortem* ancillary tests whenever histologic lesions were suggestive of an infectious etiology. However, this was not generalized and some institution did not store frozen tissue for additional culture, or tissue in ethanol for molecular testing. Thus, the precise infectious agent associated with lesions suggestive of an infectious cause of death was not always identified. A standardized *post mortem* protocol should be implemented, including systematic histology of the main organs and saving tissue frozen or stored in ethanol to improve diagnostic accuracy.

Renal non-infectious disease was the second most common cause of death. To the knowledge of the authors, this study is the first to evaluate the prevalence of renal lesions in chameleons. It is possible that some cases classified as infectious had a primary renal disease associated with a secondary infection. Thus, the prevalence of renal disease as primary cause of death could be underestimated by the present study. More than a third of chameleons that had renal histopathology performed, displayed renal lesions at the time of death. These results are similar to the reported prevalence of renal disease in chelonians,²⁴⁷ and the overall prevalence of renal disease in lizards.^{82,247} Most renal lesions were nonspecific, including urate stasis and renal fibrosis. Possible causes for non-infectious non-specific renal lesions include chronic dehydration,⁶³ and hypervitaminosis D.^{97,238} Chronic dehydration has been attributed to low habitat hygrometry or inadequate water sources,^{63,112} as chameleons only drink from droplets that drip on plane surfaces such as leaves, rendering water bowls ineffective.¹¹⁴ Based on available published literature, this study shows that most participating zoos housed their chameleons in appropriate hygrometry ranges and temperature gradients.^{41,150} Contrary to the authors' hypothesis that a lower hygrometry in the exhibit would be correlated with renal lesions, the only tendency observed for higher renal prevalence was related with the mean hygrometry of the geographical area where the zoo was located. It is possible that exhibit hygrometry values provided by the zoos through the survey were optimal values at a single point of the enclosure, rather than true measured mean habitat hygrometry. Although this was just a tendency, it raises the question whether chameleons should be kept and displayed in very arid geographical areas, as a lower overall hygrometry could be a predisposing factor for renal disease. At minimum, zoos located in areas with low mean hygrometry should strive to provide multiple humidifiers and water sprayers to chameleons. Surprisingly, renal lesion prevalence was not correlated to the exhibit temperature. Like other ectotherms, a chameleon's body temperature depends on environmental temperature. To maintain their optimal body temperature, chameleons adapt their behavior to expose themselves to heat and ultraviolet light.^{18,77,193,227} A higher temperature at the colder end of their habitat, or the lack of an adequate temperature gradient, could hinder the behavioral thermoregulation of chameleons, causing overheating and chronic dehydration. Previous studies have shown that increased temperature causes vasodilation in reptiles, increasing the plasma volume and thus increasing glomerular filtration rate, leading to dehydration.⁸⁴ Subsequently, dehydrated lizards tend to move to a colder point of their habitat to mitigate dehydration when a colder hiding place is provided.¹⁹¹

Although the present study did not show an association between temperature and the prevalence of renal lesions, it should be noted that the temperature gradient remained appropriate for these species in most zoos. Additional studies are needed to fully understand the dynamics between temperature, hygrometry, behavior and renal diseases in chameleons in the context of global warming.

Reproductive non-infectious diseases were the third most common cause of death in this population of chameleons. Lesions of the reproductive tract were especially prevalent in females, as dystocia, pre-ovulatory stasis, salpingitis and egg-yolk coelomitis were often mentioned in the necropsy reports. This could contribute to the lower life expectancy of oviparous female compared to male chameleons, especially in the veiled chameleons, panther chameleons, Parson's chameleons, and common chameleons. Predisposing factors for reproductive disease in oviparous female reptiles include nutritional deficiencies, such as calcium deficiency, or a lack of nest-building material in the environment. Quantitative nutrition information was not available in the survey, and the evaluation of these factors was therefore beyond the objectives of this study. Conversely, in males, very few lesions of the reproductive tract led to fatalities, with only two fatal cases of seminomas reported.

6. Conclusions

The causes of death of 412 chameleons from 14 species in zoological institutions were analyzed. Based on the results of the present study, research in chameleon medicine should focus on diagnostic and therapeutic tools for infectious and renal diseases. Considering the high prevalence of renal diseases in chameleons and the low sensitivity of current blood tests, the authors suggest the evaluation of newer blood markers as a starting point for future research. The implementation of a standardized *post mortem* approach including thorough necropsy and histopathology analysis is also suggested to improve diagnosis and better understand the health problems afflicting chameleons, especially endangered species.

7. Acknowledgments

Acknowledgments: The authors thank Johanna Staerk and Dalia Conde (Species360), and Dr. Juliette Raulic for their valuable help. The authors are especially grateful to the veterinarians, curators, technicians and employees who contributed to this study from the following institutions: Abilene Zoo, Al Ain Zoo, Alligator Bay, Auckland Zoo, Boston's Museum of Science, Bristol Zoo Gardens, Budapest Zoo and Botanical Garden, Calgary Zoo, California Academy of Sciences/Steinhart Aquarium, Canterbury College, Centro de Conservación Zoo Cordoba, Chessington Zoo, Clyde Peeling's Reptiland, Cologne Zoo, Copenhagen Zoo, Dallas Zoo, Drayton Manor Resort, Dubai Safari Park, Exmoor Zoological Park, Fota Wildlife Park, Jerusalem Biblical Zoo, John Ball Zoo, Krasnoyarsk Park of Flora and Fauna Roev Ruchey, Kristiansand Dyrepark, Leipzig Zoo, Lory Park Animal and Owl Sanctuary, Malmö Museer/Akvariet, Miejski Ogród Zoologiczny w Łodzi, Montgomery Zoo, Moody Gardens, Mulhouse Zoo, Museum de Besançon, Muzoo, Niabi Zoo, Oasys MiniHollywood, Oregon Zoo, Parc Zoologique de Paris, Ralph Mitchell Zoo, Reptiland, Réserve Africaine de Sigean, Saint Louis Zoo, Shuttleworth Zoological Education Center, Sofia Zoo, Tennessee Aquarium, Terrariet Vissenbjerg, The Green Planet Dubai, Tierpark Bern, Tierpark Hagenbeck, Tierpark Hellabrunn, Toronto Zoo, Tropical World, Tropikariet i Helsingborg, Ueno Zoological Gardens, Walter Zoo, Wingham Wildlife Park, Zoo de Granby, Zoo Dvůr Králové, Zoo Hoyerswerda, Zoo Zürich, Zoologická Zahrada Jihlava, Zoologischer Garten Berlin, ZooParc de Beauval, Zoopark.lt, ZooSafari de Thoiry and participating institutions which elected to remain anonymous.

FUNDING: This project was funded by the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) and the Bourse du Centenaire of the Université de Montréal.

The authors have no conflict of interest to disclose.

8. Tables and figures

Table 12. Response rate of ZIMS registered zoological institutions housing chameleons by geographical location^a

Continent ^b	Institutions housing chameleons ^c	Institutions having answered the survey	Institutions having shared necropsy reports
Total	245	65 (26.5%)	29 (11.8%)
Africa	6 (2.4%)	1 (16.7%)	0
Asia	18 (7.3%)	5 (27.8%)	2 (11.1%)
Europe	154 (62.9%)	41 (26.6%)	16 (10.4%)
North America	57 (23.3%)	17 (29.8%)	10 (4.1%)
Oceania	6 (2.4%)	1 (16.7%)	1 (16.7%)
South America	4 (1.6%)	0	0

^a Percentages were calculated based on the total for each row.

^b Continental division according to the ZIMS database.

^c Number of institutions housing chameleons according to the ZIMS database.

Table 13. Distribution of identified infectious agents incriminated in the death of 83 zoo-housed chameleons from 2011 to 2022^a

Category of infectious cause of death	Number of cases ^b	Agents ^c	Number of mentions
Bacterial	31 (37.3%)	<i>Bacteroides fragilis</i>	3
		<i>Citrobacter</i> spp.	3
		<i>Enterococcus</i> spp.	10
		<i>Klebsiella</i> spp.	7
		<i>Morganella morganii</i>	3
		<i>Mycobacterium</i> spp.	5
		<i>Proteus</i> spp.	4
		<i>Providencia rettgeri</i>	6
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	15
		<i>Salmonella</i> spp.	3
		<i>Staphylococcus</i> spp.	4
		Other agents	13
Fungal	6 (7.2%)	<i>Chrysosporium</i> anamorph of <i>Nannizziopsis vriesii</i>	2
		<i>Fusarium solani</i>	1
		<i>Metarhizium granulomatis</i>	1
		<i>Nannizziopsis guarroi</i>	2
Parasitic	46 (55.5%)	Amoeba	6
		<i>Choleoeimeria</i> spp.	9
		Coccidia	28
		Flagellates	5
		Nematodes	16
		Trematodes	26
Other agents	9		

^a Only cases with a confirmed precise infectious etiology are included in this table.

^b Percentages were calculated based on the total of cases where a precise infectious etiology could be determined (n = 83).

^c Agents with less than 3 mentions throughout the 83 reports were classified as “Other agents”, except for the fungal category

Table 14. Distribution of significant lesions of the urinary tract in 47 cases of renal-related deaths of zoo-housed chameleons from 2011 to 2022

Type of lesion	Diagnosis	Number of cases mentioning this type of lesion ^a
Degenerative	Interstitial fibrosis Glomerular sclerosis	26 (28.9%)
Inflammatory	Nephritis Tubulonephritis Glomerulonephritis	19 (21.1%)
Neoplastic	Adenocarcinoma Other tumor	2 (2.2%)
Vascular	Petechiae Thrombi	2 (2.2%)
Crystal deposits	Urate stasis Nephrocalcinosis	36 (40.0%)
Other	Obstruction (urolithiasis) Proteinaceous droplets Oedema	5 (5.6%)

^a Percentages were calculated only for histological lesions and are based on the total number of histological diagnoses (n = 90) mentioned in the 47 renal-related deaths.

Figure 11. Causes of mortality of 412 zoo-housed chameleons from 2011 to 2022

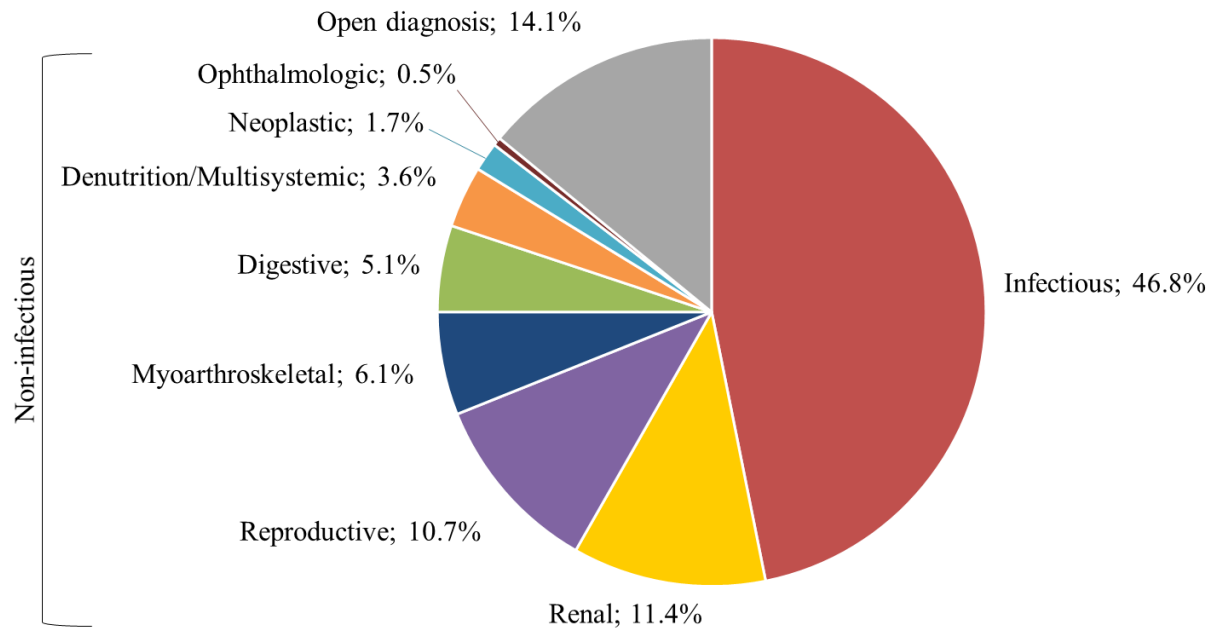
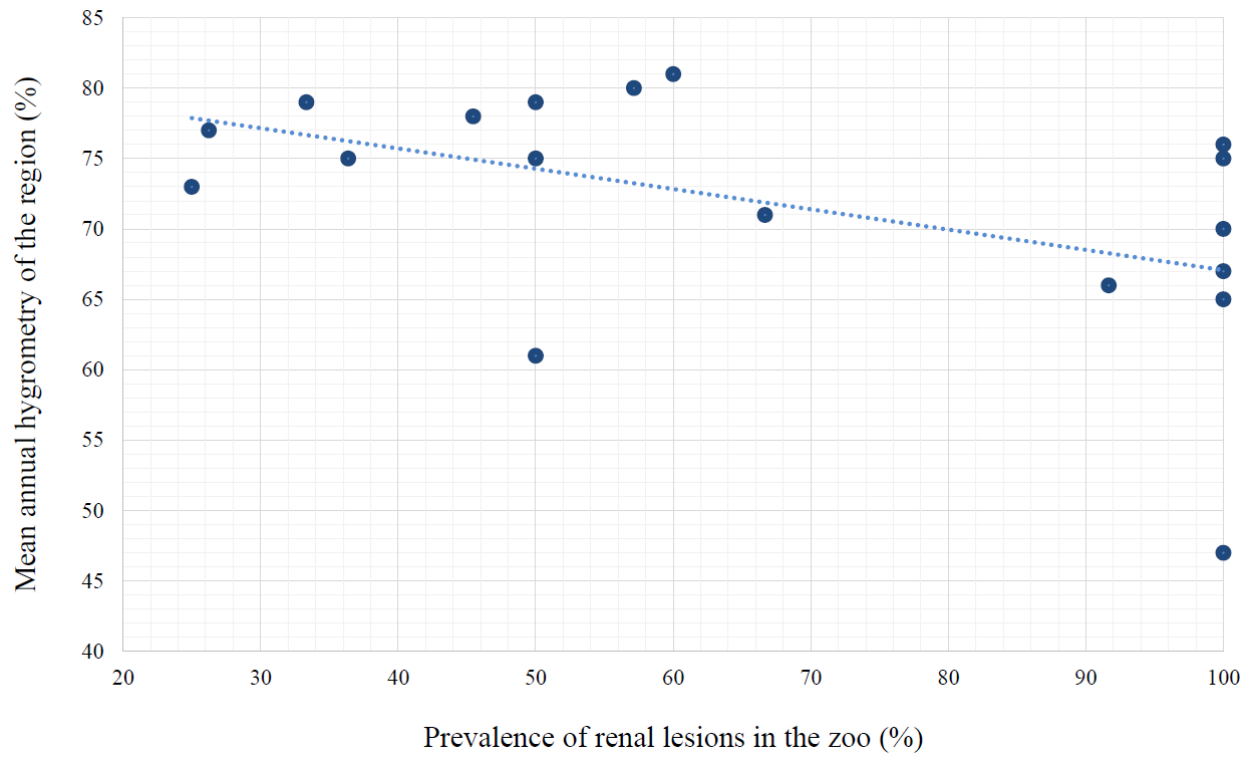


Figure 12. Prevalence of chameleon *post mortem* renal lesions in 18 zoos depending on the mean hygrometry of the geographic area of the zoo between 2011 and 2022



Supplemental Figure 1. Survey sent to 245 zoos regarding the husbandry of chameleons in their institution.

Faculté de médecine vétérinaire



EVALUATION OF THE DISTRIBUTION AND VIABILITY OF CHAMELEONS IN ZOOLOGICAL INSTITUTIONS

This survey contributes to a research project about chameleon conservation in zoological institutions, conducted as a part of a master's thesis in Veterinary Science at the Université de Montréal.

Any information collected in this survey will be anonymized.

This is a collaborative project with Species360, funded by the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC).

Thank you very much for taking the time to complete this survey, which should take about 15-20 minutes.

INSTITUTION

Please confirm the name of your institution. Any information collected in this survey will be anonymized. This identification is for monitoring purposes only.

SPECIES DISTRIBUTION

Are all the chameleons in your institution registered in the ZIMS database?

Yes

No

Other: _____

Please confirm the chameleon species kept at your institution.

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> <i>Archaius tigris</i> | <input type="checkbox"/> <i>Kinyongia multituberculata</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Brookesia stumpffi</i> | <input type="checkbox"/> <i>Kinyongia oxyrhina</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Calumma brevicorne</i> | <input type="checkbox"/> <i>Kinyongia tavetana</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Calumma globifer</i> | <input type="checkbox"/> <i>Kinyongia vosseleri</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Calumma parsonii</i> | <input type="checkbox"/> <i>Rhampholeon acuminatus</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Chamaeleo africanus</i> | <input type="checkbox"/> <i>Rhampholeon kerstenii</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Chamaeleo calyptratus</i> | <input type="checkbox"/> <i>Rhampholeon spectrum</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Chamaeleo chamaeleon</i> | <input type="checkbox"/> <i>Rhampholeon temporalis</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Chamaeleo dilepis</i> | <input type="checkbox"/> <i>Rieppeleon brevicaudatus</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Chamaeleo zeylanicus</i> | <input type="checkbox"/> <i>Trioceros cristatus</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Furcifer lateralis</i> | <input type="checkbox"/> <i>Trioceros deremensis</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Furcifer minor</i> | <input type="checkbox"/> <i>Trioceros incornutus</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Furcifer oustaleti</i> | <input type="checkbox"/> <i>Trioceros jacksonii</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Furcifer pardalis</i> | <input type="checkbox"/> <i>Trioceros laterispinis</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Furcifer petteri</i> | <input type="checkbox"/> <i>Trioceros melleri</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Furcifer verrucosus</i> | <input type="checkbox"/> <i>Trioceros montium</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Kinyongia bohmei</i> | <input type="checkbox"/> <i>Trioceros quadricornis</i> |
| <input type="checkbox"/> <i>Kinyongia fischeri</i> | <input type="checkbox"/> Other: _____ |
| <input type="checkbox"/> <i>Kinyongia matschiei</i> | |

SEX DISTRIBUTION

Please confirm the sex distribution of the chameleons currently kept at your institution (males / females / undetermined).

Which criteria do you use to classify a chameleon as “undetermined sex”?

REPRODUCTION

Has there ever been juvenile chameleons born at your institution in the past?

- Yes
 No
 Other: _____

Have you attempted to breed chameleons at your institution over the last 12 months?

- Yes
 No
 Other: _____

How many chameleon births have occurred at your institution over the last 12 months?

If chameleon births occurred at your institution in the last 12 months, what was the outcome of the juveniles (kept at your institution, sent elsewhere, mortality, etc.)?

MORTALITY CAUSES

Do you always perform a macroscopic necropsy in case of chameleon fatality at your institution?

- Yes
- No
- Other: _____

Do you always submit organs for histology in case of chameleon fatality at your institution?

- Yes
- No
- Other: _____

What other post-mortem tests have been performed with chameleons at your institution?

- None
- PCR
- Immunohistochemistry
- Fungal culture
- Fecal examination
- Other: _____

If other post-mortem tests have been performed with your chameleons, which agent was investigated?

Would you agree to give us access to the ZIMS medical files of your chameleons (necropsy results), granted it be under a confidentiality agreement?

- Yes
- No
- None of our chameleons' data is registered in ZIMS medical
- Other: _____

Otherwise, would you agree to share with our veterinary team the necropsy data of your chameleons of the past 10 years (any format of your choice)?

- Yes
- No
- Other: _____

If it is not possible, according to you, what are the main causes of mortality of chameleons at your institution?

Among your female chameleons, how many have died of egg retention or follicular stasis over the past 5 years?

Among all your chameleons, how many have had a renal disease over the past 5 years?

HUSBANDRY (optional)

What is/are the type(s) of chameleon's habitat(s) at your institution?

- Flexarium (mesh enclosure)
- Terrarium (at least one glass wall)
- Aquarium
- Greenhouse
- Other: _____

Among your adult chameleons, do some of them cohabitate with other animals at your institution?

- No, there is no cohabitation of chameleons
- Yes, there is cohabitation between female chameleons of the same species
- Yes, there is cohabitation between male chameleons of the same species
- Yes, there is cohabitation of male and female chameleons of the same species
- Yes, there is cohabitation of same sex chameleons of different species
- Yes, there is cohabitation of chameleons of different sexes and species
- Yes, there are multi-species (birds, other reptiles, etc.) exhibit in our institution
- Other: _____

If some of the chameleons at your institution are kept in a multi-species exhibit, please specify which species.

What is the typical temperature gradient in the chameleon exhibits of your institution? Please indicate the temperatures at the warm/cool end and at the hot end of the exhibits.

Please indicate the typical hygrometry parameters in the chameleon exhibits of your institution (mean%, minimum%, maximum%).

Please describe the way you offer water to the chameleons at your institution.

Please describe the prey items, meal frequency, and average quantities offered to the chameleons at your institution.

Do you gut-load prey 24 hours or more before offering them to your chameleons?

Yes

No

Other: _____

If you do gut-load the prey, which supplement do you use (brand, with or without vitamin D, etc.)?

Do you dust prey with a vitamin/mineral supplement just before offering them to your chameleons?

Yes

No

Other: _____

If you do dust the prey, which supplement do you use (brand, with or without vitamin D, etc.)?

Any data collected in this survey will be anonymized.

Thank you very much for your time and contribution to this study on chameleon conservation in zoological institution.

Supplemental Figure 2. Species distribution of the 412 zoo-housed chameleons included in the study

Species	Number of individuals from each species	Percentage of the total number of individuals ^a
<i>Brookesia</i> spp.	4	1.0%
<i>Brookesia stumpffi</i>	1	0.2%
<i>Brookesia superciliaris</i>	2	0.5%
<i>Calumma parsonii</i>	2	0.5%
<i>Chamaeleo calyptratus</i>	74	18.0%
<i>Chamaeleo chamaeleon</i>	13	3.2%
<i>Furcifer lateralis</i>	4	1.0%
<i>Furcifer oustaleti</i>	10	2.4%
<i>Furcifer pardalis</i>	226	54.9%
<i>Rieppeleon brevicaudatus</i>	12	2.9%
<i>Trioceros jacksonii</i>	33	8.0%
<i>Trioceros melleri</i>	27	6.6%
<i>Trioceros montium</i>	2	0.5%
<i>Trioceros quadricornis</i>	2	0.5%

^a Percentages were calculated based on the total number of individuals included in the study (n=412).

CHAPITRE 4 - DISCUSSION

À moins de précision contraire, les prochaines sections de discussion concernent l'analyse des données récoltées et la situation de garde en captivité des caméléons dans les zoos au moment de l'étude, soit entre juillet 2021 et juillet 2022 pour les statistiques sur la distribution et la reproduction, entre 2011 et 2022 pour l'analyse des causes de mortalité principales, et entre 1980 à 2024 pour l'analyse de l'espérance de vie.

Dans le cadre de ce projet, le nombre d'institutions ayant participé à cette étude et le taux de participation étaient similaires à ceux d'autres études rétrospectives réalisées sur les causes de mortalité de mammifères gardés dans des zoos.^{131,164,223} De plus, bien qu'aucun zoo d'Amérique du Sud n'ait répondu au sondage en ligne, aucune différence significative n'a été détectée dans le taux de réponse des différents continents inclus. Cette étude représente, à la connaissance des auteurs, le projet le plus exhaustif réalisé au sujet des populations de caméléons en milieu zoologique à ce jour.

Au moment de l'étude, seules 36 des 202 espèces de caméléons étaient gardées dans des institutions zoologiques membres de Species360. Une seule des dix espèces de caméléons possédant le statut « En danger critique d'extinction » de l'IUCN était gardée en milieu zoologique.¹⁰⁶ Par ailleurs, plus du quart des caméléons gardés dans les zoos utilisant ZIMS portait le statut de « Préoccupation mineure ». Enfin, la seule espèce de caméléons inscrite à l'Annexe I de la CITES⁴³ n'était pas gardée dans les institutions membres de ZIMS. Cette étude a donc permis de mettre en évidence que les espèces de Chamaeleonidae les plus menacées sont peu ou pas représentées dans les modèles actuels de garde en captivité en milieu zoologique. Parmi les éléments pouvant affecter le choix des espèces représentées dans les zoos se retrouvent la taille de l'animal et la facilité d'accès à l'espèce. En comparaison des petites espèces, les animaux de taille supérieure, notamment les animaux de la « mégafaune », sont souvent plus appréciés du public.^{27,72,104,206} De plus, comme de nombreux animaux gardés en milieu zoologique depuis 1985 sont nés en captivité,¹⁷⁹ l'accès à une espèce est influencé par son historique de garde en captivité dans les zoos. Ceci suggère que les espèces plus petites ou plus rares pourraient être plus difficilement accessibles en raison de leur manque de représentation en milieu zoologique. Cette représentation limitée des caméléons pourrait donc être reliée à la popularité de certaines espèces courantes, notamment le caméléon casqué du Yémen et le caméléon panthère, et à la facilité avec

laquelle celles-ci sont reproduites en captivité.⁴ Un problème de survie en captivité pourrait aussi être à l'origine de la distribution des espèces gardées en zoo, notamment si l'on considère que les espèces les plus menacées sont moins connues par le milieu vétérinaire, et pourraient nécessiter des conditions de régie n'ayant pas encore été précisées à ce jour.^{36,184,185,246} De plus, de par leur statut de conservation et leur rareté, un accès plus difficile aux espèces les plus menacées pourrait être un facteur influençant leur faible représentation en milieu zoologique. Ainsi, puisque la distribution des caméléons gardés en milieu zoologique semble en faveur des espèces à préoccupation mineure, au détriment des espèces en danger d'extinction, ce projet a montré que les modèles de garde en captivité utilisés au moment de l'étude ne sont pas entièrement viables pour maintenir toutes les populations naturelles. Par conséquent, des modifications pourraient être effectuées pour favoriser le maintien, la reproduction et la survie des populations menacées de caméléons. En effet, la faible représentation des espèces de *Chamaeleonidae* les plus menacées dans les zoos suggère que ces reptiles ne bénéficient pas des programmes de conservation et de reproduction des espèces auxquels participent les institutions zoologiques. Ces programmes, notamment le Species Survival Plan (SSP) de l'AZA, ont pour objectifs de maximiser la diversité génétique, de contrôler la répartition démographique d'une espèce et d'assurer la viabilité à long terme des collections animales des zoos à travers le monde.¹² Les résultats de cette étude suggèrent donc qu'une meilleure représentation des espèces menacées en milieu zoologique pourrait être encouragée à des fins de préservation de la biodiversité, et que la création d'un programme de survie des espèces pour les *Chamaeleonidae* gardés en institutions zoologiques pourrait permettre le maintien et la conservation des populations de caméléons mondiales. Toutefois, les retombées et les défis de ce type de programmes doivent être réfléchis avec discernement, comme décrit dans un récent chapitre de revue sur la question.⁸⁰ La reproduction des caméléons en milieu zoologique devrait également faire partie d'un programme de conservation plus large incluant des efforts de préservation des habitats et permettant de favoriser la pérennité des espèces de caméléons en nature.^{40,133,151} De plus, des études additionnelles sur les conditions de garde optimales des espèces de caméléons n'étant présentement pas représentées en milieu zoologique seraient nécessaires pour assurer leur viabilité et maximiser leur espérance de vie en zoo.

À l'échelle mondiale, le nombre de caméléons mâles gardés en milieu zoologique est significativement supérieur au nombre de caméléons femelles. Chez les caméléons étudiés dans ce projet, une représentation équivalente des sexes (« *sex ratio* » non-significativement différent)

à plusieurs températures d'incubation a été observée, suggérant ainsi que le sexe est déterminé génétiquement chez ces espèces.^{5,14} Par conséquent, une probabilité similaire d'obtenir des mâles ou des femelles à la naissance peut être supposée. Les auteurs ont initialement émis l'hypothèse que les caméléons les plus esthétiques seraient gardés en plus grand nombre dans les zoos, en particulier les mâles, qui ont généralement tendance à afficher des couleurs plus vives ou des attributs plus distinctifs que les femelles. Les résultats de cette étude pourraient supporter cette hypothèse. Cependant, même si une sélection volontaire en faveur des caméléons mâles à l'échelle mondiale pourrait être suggérée comme explication pour la distribution des sexes observée, les informations recueillies tout au long de ce projet ne permettent pas aux auteurs de déterminer si les institutions membres de ZIMS favorisent consciemment un sexe plutôt que l'autre, ni si l'esthétisme est réellement considéré dans la sélection des caméléons gardés en milieu zoologique. D'autres facteurs, comme une plus longue longévité des mâles chez certaines espèces, pourraient aussi être la raison de cette observation.

L'analyse réalisée sur les données de ZIMS montre que 43% des caméléons gardés en milieu zoologique sont de sexe indéterminé. L'absence de dimorphisme sexuel évident en jeune âge chez certaines espèces peut notamment être à l'origine de cette forte proportion d'individus de sexe indéterminé.¹⁵⁰ Un meilleur protocole de sexage des Chamaeleonidae pourrait permettre de préciser la distribution des sexes de ces espèces au stage juvénile. De plus, certaines espèces ne présentent pas de dimorphisme sexuel évident à l'âge adulte.⁶⁶ Alors que le sexage par observation du dimorphisme sexuel est pratique courante en milieu zoologique,^{16,34,50,89,182,199,218,227} des systèmes de chromosomes sexuels et de l'hétérogamétie ont été observés chez trois espèces de caméléons à ce jour.^{162,189} D'autres techniques se basant notamment sur des marqueurs génétiques spécifiques au sexe de l'animal pourraient également permettre le sexage des caméléons dépourvus de chromosomes sexuels hétéromorphes.¹⁶² Chez certaines espèces, notamment le caméléon casqué du Yémen, un dimorphisme sexuel est présent chez les juvéniles, les mâles ayant un développement plus prononcé des éperons tarsaux dès l'éclosion.⁵⁴ Pourtant, plus de 50% des caméléons casqués du Yémen étaient listés comme étant de sexe indéterminé dans ZIMS. Des études supplémentaires et de la formation destinée au personnel d'institutions zoologiques seraient donc nécessaires pour permettre une meilleure identification du sexe des animaux sans dimorphisme sexuel évident, ou avec un dimorphisme subtil au stade juvénile. Ceci permettrait de

favoriser le maintien des femelles en plus grand nombre afin de maximiser le potentiel reproducteur des caméléons captifs.

À ce jour, très peu de données sur l'espérance de vie des caméléons en milieu naturel sont accessibles dans la littérature scientifique, et les données d'espérance de vie publiées varient grandement selon l'espèce de caméléons.^{4,67,117} Il n'est malheureusement pas possible de comparer l'espérance de vie des caméléons de milieu zoologique avec ceux de leurs congénères en nature. La présente étude a cependant montré que les mâles vivent significativement plus longtemps que les femelles chez les caméléons panthères et les caméléons casqués du Yémen gardés en zoos. Étonnamment, ce résultat est contraire aux tendances observées chez les mammifères, chez qui les femelles ont une espérance de vie supérieure aux mâles de la même espèce.¹³² Des différences dans la structure des chromosomes sexuels ont été suggérées comme une explication potentielle des taux de mortalité significativement différents entre les mâles et les femelles, avec un taux de survie plus faible associé au sexe hétérogamétique chez les tétrapodes, incluant les lézards.^{132,139,177} Comme les femelles caméléons panthères sont hétérogamétiques,¹⁸⁹ l'observation d'une espérance de vie inférieure chez les femelles par rapport aux mâles de cette espèce pourrait supporter cette hypothèse. Cependant, les caméléons casqués du Yémen montrent une hétérogamétie mâle.¹⁶² D'après cette théorie de l'avantage de survie homogamétique, les femelles caméléons casqués du Yémen devraient avoir une espérance de vie plus longue que les mâles. Par conséquent, cette observation réfute l'hypothèse selon laquelle l'espérance de vie repose principalement sur la structure des chromosomes sexuels chez les lézards. Alternativement, des différences physiologiques entre les mâles et les femelles pourraient être à l'origine des différences d'espérance de vie observées chez certaines espèces de caméléons. En effet, considérant la forte prévalence de maladies du système reproducteur observée chez des caméléons femelles dans cette étude, des mortalités reliées à l'oviposition pourraient contribuer à l'écart d'espérance de vie observé chez les caméléons panthères et les caméléons casqués du Yémen, des espèces ovipares qui se reproduisent bien en milieu zoologique. Ces différences pourraient être moins prononcées pour quatre des cinq autres espèces étudiées (caméléon de Parson, caméléon commun, caméléon géant de Madagascar et caméléon de Meller), chez qui la reproduction semble moins fréquente en zoo, pouvant ainsi mener aux résultats non-significatifs observés. Le caméléon de Jackson est une autre espèce qui se reproduit bien en milieu zoologique. Or, il s'agit d'une espèce ovovivipare, ce qui pourrait expliquer l'absence de différence significative d'espérance de vie entre mâles et

femelles. À noter que le système de détermination sexuelle des caméléons de Jackson demeure inconnu à ce jour. Les résultats de cette étude suggèrent donc que les différences d'espérance de vie entre mâles et femelles pourraient être davantage attribuables à la fréquence des problèmes reproducteurs chez les femelles caméléons ovipares plutôt qu'à un avantage génétique. Afin d'approfondir ces notions, il serait toutefois intéressant de préciser le mode de détermination des sexes chez les autres espèces étudiées, et pour lesquelles aucune différence d'espérance de vie n'a été détectée entre les mâles et les femelles. Plus globalement, le fait que les mâles aient une espérance de vie supérieure à celle des femelles chez certaines espèces de caméléons suggère qu'un nombre supérieur de femelles devrait être maintenu en milieu zoologique. Ceci permettrait de maximiser le potentiel reproducteur des populations, car il est attendu que le ratio des sexes soit déséquilibré en faveur des mâles avec le vieillissement des individus. En particulier, il pourrait être utile d'introduire de jeunes femelles régulièrement dans les groupes de caméléons captifs, surtout auprès d'espèces démontrant une différence d'espérance de vie selon le sexe. Finalement, les résultats obtenus montrent que les caméléons sous garde humaine ont une espérance de vie vraisemblablement plus courte que d'autres espèces de lézards captifs, dont l'espérance de vie rapportée peut parfois dépasser les 10-15 ans.^{32,170,209} Tel que mentionné au Chapitre 3, une étude réalisée auprès de propriétaires de reptiles a également montré que les caméléons avaient un taux de survie plus bas que la plupart des autres groupes de reptiles lors de la première année post-acquisition.¹⁸⁶ Une faible tolérance au stress et des besoins spécifiques en termes de régime pourraient être à l'origine de ce haut taux de mortalité.^{225,232} Des études supplémentaires seraient nécessaires pour déterminer s'il s'agit d'une particularité intrinsèque des caméléons, ou si les modèles de garde en captivité actuels peuvent être raffinés davantage afin d'améliorer l'espérance de vie de ces espèces en milieu zoologique.

La présente étude a permis de montrer que moins du quart des espèces de caméléons gardées dans les institutions zoologiques utilisant ZIMS se sont reproduites entre juillet 2020 et juillet 2021. De plus, la majorité des juvéniles nés de cette reproduction provenaient d'une même espèce, le caméléon de Jackson, qui est ovovivipare. Des huit espèces de caméléons s'étant reproduites, une possède le statut « En danger critique d'extinction » (*Rampholeon acuminatus*) selon l'IUCN, une possède le statut « En danger » (*Archaius tigris*), et les six autres sont de préoccupation mineure (*Chamaeleo calypttratus*, *Furcifer lateralis*, *Furcifer pardalis*, *Rampholeon spectrum*, *Rieppeleon brevicaudatus* et *Trioceros jacksonii*). Le modèle de reproduction actuel des Chamaeleonidae en

institutions zoologiques n'est donc potentiellement viable que pour une fraction des espèces de caméléons menacées d'extinction. De plus, la présente étude n'a pas pris en compte la génétique de ces populations, ce qui représente un facteur majeur à considérer dans un but de conservation.¹¹⁰ Une meilleure représentation des espèces menacées dans les zoos et l'implantation de programmes de reproduction et de survie des espèces pour les espèces menacées de *Chamaeleonidae* seraient recommandées. Ces mesures contribueraient potentiellement à l'amélioration de la viabilité à long terme des populations et au succès de reproduction en captivité de ces espèces. D'un autre côté, près du quart des espèces de caméléons gardées dans les zoos utilisant ZIMS n'étaient représentées que par un seul individu au moment de l'étude, ce qui suggère que plusieurs zoos ne visaient pas la reproduction de ces caméléons. Malgré cela, plus de la moitié des zoos participants ont affirmé avoir déjà observé des naissances viables au sein de leur institution, et plus du tiers ont tenté de reproduire des caméléons entre juillet 2020 et juillet 2021, ce qui confirme l'hypothèse initiale de l'étude. Ces résultats suggèrent que la reproduction demeure un enjeu important pour les gestionnaires de collections animales. L'introduction et la mise en contact d'individus des deux sexes pendant la période de réceptivité de la femelle, ainsi que la mise en place d'un environnement adapté à la reproduction, pourraient faire partie des futurs efforts de conservation pour les *Chamaeleonidae* gardés en milieu zoologique.

À ce jour, plusieurs études ont été réalisées sur les conditions de régie appropriées pour les *Chamaeleonidae* gardés en milieu zoologique, mais la plupart ne s'intéressaient aux particularités que des espèces les plus populaires, comme le caméléon casqué du Yémen, le caméléon panthère, le caméléon de Parson et le caméléon de Jackson.^{41,74,150} Peu d'articles scientifiques concernant les particularités de régie propres aux autres espèces de caméléons étaient disponibles dans la littérature scientifique au moment de l'étude. Des projets de recherche additionnels concernant la régie et le comportement des caméléons moins communs en captivité seraient nécessaires pour améliorer davantage leur qualité de vie en zoo.²⁰⁰ Malgré cela, les conditions environnementales décrites par les institutions zoologiques ayant participé à cette étude sont, en très grande majorité, concordantes avec les standards de pratique définis dans le domaine vétérinaire.^{41,78,79,121,150,183} Les résultats de ce projet suggèrent que les caméléons peuvent s'adapter à de nombreux types d'habitats, notamment les terrariums, aquariums et vivariums, ainsi que les habitats ouverts. Considérant la faible proportion de prédation mentionnée par les zoos participants, les résultats de cette étude suggèrent également que la cohabitation des caméléons avec diverses espèces animales,

notamment avec des caméléons de la même espèce, des caméléons d'espèces différentes, ou des espèces animales distinctes comme des amphibiens, d'autres reptiles et des oiseaux, pourrait être une pratique acceptable en milieu zoologique lorsque l'espace disponible leur permet de fuir la prédation. Toutefois, il est possible que la prévalence de lésions de prédation ait été sous-estimée. En effet, certains individus prédatés pourraient, par définition, ne pas avoir été disponibles pour une nécropsie. De plus, l'autolyse de certaines carcasses et le fait que la cause de la mort soit évidente pourraient avoir conduit à un taux de soumission inférieur des cas de prédation en nécropsie. Des études observationnelles ou expérimentales concernant le comportement des caméléons dans différents milieux captifs seraient pertinentes afin de décrire leurs interactions avec diverses espèces. De telles études permettraient de préciser les choix judicieux de cohabitation dans des habitats multi-espèces.

En ce qui a trait aux méthodes d'abreuvement des caméléons gardés en zoo, les résultats obtenus dans la présente étude suggèrent que la quasi-totalité des institutions tente d'adapter l'environnement et les sources d'eau accessibles aux particularités d'abreuvement des caméléons, que ce soit par l'utilisation d'une ou plusieurs méthodes d'humidification de l'environnement ou par la mise en place de sources d'eau fonctionnant au « goutte-à-goutte ». En effet, seules deux institutions ont mentionné l'utilisation de bols d'eau comme seule source d'abreuvement, signifiant que 97% des institutions participantes procurent à leurs caméléons des sources d'eau accessibles et compatibles avec leurs comportements d'abreuvement. De la même façon, les protocoles d'alimentation décrits par les zoos participants montrent que près de 84% des institutions offrent à leurs caméléons des proies variées et appropriées pour subvenir à leurs besoins nutritionnels.^{99,122,152,167,178,182,220} Étonnamment, seuls 53,4% de ces zoos nourrissaient les proies des caméléons avec des suppléments (« *gut-loading* »), alors que cette pratique est recommandée pour compenser le déficit en calcium et en vitamine A de la plupart des insectes vendus commercialement.⁶⁵ La supplémentation des proies incluait l'ajout régulier de calcium avec ou sans vitamine D, notamment pour la prévention de l'hyperparathyroïdie secondaire d'origine nutritionnelle.^{92,101,102} La supplémentation en vitamine A était mentionnée par certaines institutions, bien que les quantités offertes n'aient pas été explicitées dans le sondage en ligne. Il aurait été intéressant d'évaluer s'il existe une corrélation entre l'apport en vitamine A et la prévalence des lésions rénales. Toutefois, comme les quantités exactes de vitamine A ingérées par les caméléons ne pouvaient pas être déterminées de façon fiable via un sondage, cet aspect n'a pas

été évalué. À ce jour, peu d'études ont été réalisées sur les besoins nutritionnels spécifiques des espèces de caméléons.^{25,78,101} Dans le but de parfaire les protocoles d'alimentation et de supplémentation de ces reptiles, des études additionnelles pourraient être réalisées pour déterminer plus précisément leurs besoins énergétiques et leurs besoins en apports exogènes de vitamines et minéraux. Il n'en demeure pas moins que cette étude a permis de mettre en évidence les efforts réalisés par les institutions zoologiques pour fournir un environnement, une diète et un support nutritionnel adaptés aux caméléons sous leur garde.

Parmi les limitations possibles de ce projet se retrouvent un manque d'uniformité des données de nécropsie, une barrière de langage dans certaines institutions ayant nécessité des traductions, et un biais de représentation en faveur des institutions aux plus hauts standards de régie. D'abord, un des enjeux concernant l'analyse des données de nécropsie incluait l'absence d'une nomenclature et d'un système de classification universels ou acceptés par la majorité. Les auteurs ont élaboré plusieurs systèmes de classification subjectifs, notamment en ce qui a trait aux causes de mortalité, permettant de limiter les conséquences de cette non-uniformité. De plus, le manque de données histologiques précises dans certains rapports de nécropsie représentait la limitation principale de l'analyse des causes de mortalité. Parmi les raisons plausibles pour ces rapports peu concluants se retrouvent les difficultés associées aux méthodes de préservation des carcasses,^{39,202} et les contraintes financières liées aux tests *post mortem* réalisés sur les reptiles. Les différences dans la gestion *post mortem* des collections animales pourraient être ciblées par de futures études afin d'évaluer la tendance des zoos à se concentrer sur les espèces plus charismatiques, comme les mammifères et les oiseaux.⁷² L'étendue réelle des conséquences de cette limitation est inconnue dans la présente étude. Par exemple, le manque de recours aux techniques moléculaires pour rechercher des agents viraux pourrait avoir diminué la capacité de détection des maladies virales dans la population d'étude. Pour ce qui est de l'analyse des données librement disponibles sur la plateforme ZIMS, il ne peut être exclu qu'un manque d'exactitude soit présent, notamment en ce qui a trait aux dates de la mort et à l'âge des animaux. Pour compenser ce potentiel biais, l'équipe a exclu de l'analyse de l'espérance de vie tous les animaux présentant des longévités supérieures au 99^e percentile de l'espèce. D'autre part, considérant qu'au moins un zoo a refusé de participer à ce projet en raison de la langue utilisée par l'institution pour le maintien de ses dossiers, une barrière de langage s'est révélée une limitation de cette étude. Bien que ce soit un phénomène reconnu en recherche scientifique, l'étendue des effets de cette barrière n'est pas connue des auteurs. Finalement, il ne peut être exclu que les

institutions mettant en place des protocoles de régie, d'alimentation et de soins s'accordant aux plus hauts standards du milieu aient répondu en plus grand nombre à cette étude. Ceci peut être relié à une plus grande discrétion de la part des institutions ne se conformant pas aux meilleures pratiques de gestion, notamment en raison de préoccupations concernant l'utilisation abusive des données et la peur des répercussions possibles qui pourraient découler de la fuite d'informations sensibles.^{81,165,231} Toutefois, de plus en plus d'institutions zoologiques participent à la recherche scientifique, qui est valorisée et imposée par plusieurs accréditations.¹⁷² Pour limiter ce biais et encourager la participation d'un maximum de zoos, les auteurs ont favorisé l'anonymisation des données et ont évité d'utiliser toute information susceptible d'être associée directement à l'un des partenaires du projet. Bien que cette étude ne puisse pas être considérée comme représentative de la population mondiale de caméléons en milieu zoologique, les résultats de ce projet demeurent valables. Ces derniers ont répondu à l'objectif principal des auteurs, qui était d'identifier des pistes d'amélioration dans la garde de caméléons au sein des zoos qui prospèrent déjà, afin de fournir des soins de la plus haute qualité à ces espèces en voie de disparition.

Il importe aussi de noter que les résultats de ce projet sont une représentation des populations de caméléons à un moment donné dans le temps, notamment concernant la distribution des espèces et des sexes, et le succès de reproduction en milieu zoologique. Pour évaluer adéquatement la viabilité des modèles de garde en captivité des *Chamaeleonidae*, il serait nécessaire de réévaluer cette situation dans le temps. Cette limitation est toutefois moins présente pour les volets concernant l'espérance de vie et les causes de mortalité principales des caméléons, puisque les analyses ont été effectuées à partir de données historiques. Finalement, puisque la littérature actuelle contient peu d'informations à ce sujet, des études sur l'espérance de vie, la longévité et les causes de morbidité et mortalité des caméléons en nature seraient pertinentes pour comparer la viabilité des populations de *Chamaeleonidae* en milieu zoologique et celles en milieu naturel.^{67,116,222}

CONCLUSION

À ce jour, ce projet de recherche est le plus exhaustif réalisé sur les populations de caméléons gardées en captivité dans les zoos. Celui-ci a permis d'obtenir des informations pertinentes sur la distribution, la reproduction, l'espérance de vie, la régie et les causes de mortalité principales des Chamaeleonidae gardés en milieu zoologique, et a permis de préciser la prévalence de lésions rénales observées chez ces espèces au moment de la mort. Les résultats obtenus ont permis de conclure que des efforts sont faits par de nombreuses institutions zoologiques pour offrir aux caméléons des protocoles de régie adaptés et des soins vétérinaires de qualité, et que des changements pourraient être apportés dans les modèles de garde en captivité des caméléons dans les zoos pour en améliorer la viabilité. Ces améliorations incluent l'intégration d'individus d'espèces menacées dans les collections animales mondiales afin d'en favoriser la conservation, l'introduction d'un plus grand nombre de femelles en âge de se reproduire dans les populations de caméléons afin de favoriser la reproduction des espèces représentées en milieu zoologique, et l'élaboration de protocoles généraux en ce qui a trait aux tests *ante mortem* et *post mortem* afin d'uniformiser les pratiques de gestion vétérinaire des collections zoologiques. Considérant l'espérance de vie plus faible des femelles et leur propension aux problèmes reproducteurs, maintenir les femelles caméléons en excès par rapport aux mâles serait recommandé. Cette étude suggère aussi que des projets de recherche sur les maladies infectieuses, les maladies rénales, et l'influence des paramètres de régie sur la prévalence des conditions de santé des caméléons seraient nécessaires pour améliorer la viabilité des caméléons dans les zoos et développer de meilleurs protocoles préventifs et thérapeutiques pour ces reptiles. Un plan de survie des espèces (SSP) pourrait aussi être créé pour les Chamaeleonidae afin de mettre à jour périodiquement la vue d'ensemble de cette population et de supporter les efforts de conservation déjà mis en place en milieu zoologique. Au terme de ce projet, il est possible de conclure que les zoos déploient des efforts afin de favoriser la conservation des populations de caméléons mondiales, et que des changements dans les modèles de garde en captivité contribueraient potentiellement à améliorer les succès reproducteurs et à allonger davantage la longévité de ces espèces en milieu zoologique.

BIBLIOGRAPHIE

1. Abarca ML, Martorell J, Castellá G, Ramis A, Cabañes FJ. Dermatomycosis in a pet inland bearded dragon (*Pogona vitticeps*) caused by a *Chrysosporium* species related to *Nannizziopsis vriesii*. *Vet Dermatol*. 2009;20(4):295–299.
2. Abou-Madi N, Kern TJ. Squamous cell carcinoma associated with a periorbital mass in a veiled chameleon (*Chamaeleo calypttratus*). *Vet Ophthalmol*. 2002;5(3):217–220.
3. Akani GC, Kasiemobi O, Luiselli L. Life-history and ecological distribution of chameleons (Reptilia, Chamaeleonidae) from the rain forests of Nigeria: Conservation implications. *Anim Biodivers Conserv*. 2001;24(2):1–15.
4. Andreone F, Guarino FM, Randrianirina JE. Life history traits, age profile, and conservation of the panther chameleon, *Furcifer pardalis* (Cuvier 1829), at Nosy Be, NW Madagascar. *Tropical Zool*. 2005;18(2):209–225.
5. Andrews RM. Incubation temperature and sex ratio of the veiled chameleon (*Chamaeleo calypttratus*). *J Herpetol*. 2005;39(3):504–509.
6. Andrews RM. Effects of temperature on embryonic development of the veiled chameleon, *Chamaeleo calypttratus*. *Comp Biochem Physiol Part A: Mol Integr Physiol*. 2007;148(3):698–706.
7. Andrews RM. Effects of incubation temperature on growth and performance of the veiled chameleon (*Chamaeleo calypttratus*). *J Exp Zool*. 2008;309A(8):435–446.
8. Andrews RM, Díaz-Paniagua C, Marco A, Porthault A. Developmental arrest during embryonic development of the common chameleon (*Chamaeleo chamaeleon*) in Spain. *Physiol Biochem Zool*. 2008;81(3):336–344.
9. Andrews RM, Donoghue S. Effects of temperature and moisture on embryonic diapause of the veiled chameleon (*Chamaeleo calypttratus*). *J Exp Zool*. 2004;301A(8):629–635.
10. Andrews RM, Karsten KB. Evolutionary innovations of squamate reproductive and developmental biology in the family Chamaeleonidae. *Biol J Linnean Soc*. 2010;100(3):656–668.
11. Association of Zoos and Aquariums (AZA). Institution status: Association of zoos & aquariums [Internet]. 2023. Available from: <https://www.aza.org/inst-status>
12. Association of Zoos and Aquariums (AZA). Species Survival Plan Programs [Internet]. 2023. Available from: <https://www.aza.org/species-survival-plan-programs>
13. Ball I, Behncke H, Schmidt V, Papp T, Stöhr AC, Marschang RE. Partial characterization of new adenoviruses found in lizards. *J Zoo Wildl Med*. 2014;45(2):287–297.
14. Ballen CJ, Shine R, Andrews RM, Olsson M. Multifactorial sex determination in chameleons. *J Herpetol*. 2016;50(4):548–551.
15. Barrie MT, Castle E, Grow D. Diseases of chameleons at the Oklahoma City Zoological Park. *Proc Amer Assoc Zoo Vet*. 1993.
16. Bauerová A, Kratochvíl L, Kubička L. Little if any role of male gonadal androgens in ontogeny of sexual dimorphism in body size and cranial casque in chameleons. *Sci Rep*. 2020;10(2673):1–10.
17. BBC News. “Fingertip-sized” pygmy chameleons hatch at Chester Zoo [Internet]. Available from: <https://www.bbc.com/news/uk-england-merseyside-51313359>

18. Bennett AF. Thermoregulation in African chameleons. *Int Cong Ser.* 2004;1275(December 2004):234–241.
19. Birlik S, Yildirimhan H, Yilmaz C, Yildirim E, Candan K, Kumlutaş Y, Ilgaz Ç. Helminth parasites of the Mediterranean chameleon *Chamaeleo chamaeleon* (Linnaeus, 1758)(Reptilia: Chamaeleonidae) from Turkey. *Acta Zool Bulg.* 2020;72(3):455–460.
20. Blázquez MC, Mateo JA, Díaz-Panigüana C. Egg retention and mortality of gravid and nesting female chameleons (*Chamaeleo chamaeleon*) in Southern Spain. *Herpetol J.* 2000;10(3):91–94.
21. Bolette DP. *Foleyella candezei* (Onchocercidae: Dirofilarinae) from a Fischer's chameleon, *Bradypodion fischeri* (Sauria: Chamaeleonidae). *J Parasitol.* 1998;84(5):1034–1035.
22. Bolister NJ, Johnson HE, Wathes CM. The ability of airborne *Klebsiella pneumoniae* to colonize mouse lungs. *Epidemiol Infect.* 1992;109(1):121–131.
23. Bons J, Bons N. Notes sur la reproduction et le développement de *Chamaeleo chamaeleon*. *Bull Soc Sci Nat Phys Maroc.* 1962;40(1):323–335.
24. Bowman MR, Paré JA, Sigler L, Naeser JP, Sladky KK, Hanley CS, Helmer P, Phillips LA, Brower A, Porter R. Deep fungal dermatitis in three inland bearded dragons (*Pogona vitticeps*) caused by the *Chrysosporium* anamorph of *Nannizziopsis vriesii*. *Med Mycol.* 2007;45(4):371–376.
25. Boyer TH. Hypovitaminosis A and hypervitaminosis A. In: Mader DR *Reptile Medicine and Surgery.* 2nd ed. St. Louis (MO): Elsevier; 2006. p. 831–835.
26. Boyer TH. Vitamin A deficiency in insectivorous lizards [Internet]. Clinician's brief. 2018. Available from: <https://www.cliniciansbrief.com/article/vitamin-deficiency-insectivorous-lizards>
27. Brereton SR, Brereton JE. Sixty years of collection planning: What species do zoos and aquariums keep?. *Int Zoo Yearb.* 2020;54(1):131–145.
28. Brodie ED III, Brodie ED Jr. Predator-prey arms races: Asymmetrical selection on predators and prey may be reduced when prey are dangerous. *BioScience.* 1999;49(7):557–568.
29. Bronson E, Pereira M, Sanchez C, Murray S. Iridophoroma in a veiled chameleon, *Chamaeleo calyptratus*. *J Herpetol Med Surg.* 2006;16(2):58–60.
30. Butler MA. Foraging mode of the chameleon, *Bradypodion pumilum*: A challenge to the sit-and-wait versus active forager paradigm?. *Biol J Linnean Soc.* 2005;84(4):797–808.
31. Byron J. Updated diagnostic techniques in reptiles & amphibians. *Proc West Vet Conf.* 2008.
32. Carey J, Judge D. Longevity records: Life spans of mammals, birds, amphibians, reptiles, and fish. Denmark; 2000.
33. Castle E. Husbandry and breeding of chameleons *Chamaeleo* spp. at Oklahoma City Zoo. *Int Zoo Yearb.* 1990;29(1):74–84.
34. Čerňanský A, Boistel R, Fernandez V, Tafforeau P, Nicolas LN, Herrel A. The atlas-axis complex in chamaeleonids (Squamata: Chamaeleonidae), with description of a new anatomical structure of the skull. *Anat Rec.* 2014;297(3):369–396.
35. Cervone M, Fichi G, Lami A, Lanza A, Damiani GM, Perrucci S. Internal and external parasitic infections of pet reptiles in Italy. *J Herpetol Med Surg.* 2016;26(3–4):122–130.

36. Chameleon Forums. Chameleon caresheets [Internet]. 2022. Available from: <https://www.chameleonforums.com/care/caresheets/>
37. Chitty J. Periodontitis in lizards. *Wildl Exot.* 2019;7(3):62–65.
38. Cigler P, Dervas E, Richter H, Hatt J-M, Kummrow M. Ultrasonographic and computed tomographic characteristics of the reproductive cycle in female veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*). *J Zoo Wildl Med.* 2023;54(2):231–243.
39. Cigler P, Kvapil P, Kastelic M, Gombač M, Švara T, Vobr J, Račnik J, Bartova E. Retrospective study of causes of animal mortality in Ljubljana Zoo 2005-2015. *J Zoo Wildl Med.* 2020;51(3):571–577.
40. Cohn JP. Captive breeding for conservation. *BioScience.* 1988;38(5):312–316.
41. Coke R. Husbandry of Old World chameleons. *Proc West Vet Conf.* 2004.
42. Colchero F, Jones O, Rebke M. BaSTA: An R package for Bayesian estimation of age-specific survival from incomplete mark-recapture/recovery data with covariates. *Method Ecol Evol.* 2012;3(3):466–467.
43. Convention on International Trade in Endangered Species. Appendices I, II and III [Internet]. CITES. 2019. Available from: <https://cites.org/fra/app/appendices.php>
44. Cox CS. Airborne bacteria and viruses. *Sci Prog.* 1989;73(4–292):469–499.
45. Cox N, Young BE, Bowles P, Fernandez M, Marin J, Rapacciuolo G, Böhm M, Brooks TM, Hedges SB, Hilton-Taylor C, Hoffmann M, Jenkins RKB, Tognelli MF, Alexander GJ, Allison A, Ananjeva NB, Auliya M, Avila LJ, Chapple DG, Cisneros-Heredia DF, Cogger HG, Colli GR, de Silva A, Eisemberg CC, Els J, Fong G. A, Grant TD, Hitchmough RA, Iskandar DT, Kidera N, Martins M, Meiri S, Mitchell NJ, Molur S, Nogueira C de C, Ortiz JC, Penner J, Rhodin AGJ, Rivas GA, Rödel M-O, Roll U, Sanders KL, Santos-Barrera G, Shea GM, Spawls S, Stuart BL, Tolley KA, Trape J-F, Vidal MA, Wagner P, Wallace BP, Xie Y. A global reptile assessment highlights shared conservation needs of tetrapods. *Nature.* 2022;605(7909):285–290.
46. Cuadrado M. Body colors indicate the reproductive status of female common chameleons: Experimental evidence for the intersex communication function. *Ethology.* 2000;106(1):79–91.
47. Cuadrado M, Díaz-Paniagua C, Quevedo MA, Aguilar JM, Prescott IM. Hematology and clinical chemistry in dystocic and healthy post-reproductive female chameleons. *J Wildl Dis.* 2002;38(2):395–401.
48. Cuadrado M, Loman J. Mating behaviour in a chameleon (*Chamaeleo chamaeleon*) population in southern Spain: Effects of male and female size. *Herp Bonnensis.* 1997;81–87.
49. Cuadrado M, Loman J. The effects of age and size on reproductive timing in female *Chamaeleo chamaeleon*. *J Herpetol.* 1999;33(1):6–11.
50. Da Silva JM, Tolley KA. Ecomorphological variation and sexual dimorphism in a recent radiation of dwarf chameleons (*Bradypodion*). *Biol J Linnean Soc.* 2013;109(1):113–130.
51. Deeming DC, Ferguson MWJ. Physiological effects of incubation temperature on embryonic development in reptiles and birds. In: Deeming DC, Ferguson MWJ *Egg incubation: It's effects on embryonic development in birds and reptiles.* 1st ed. Cambridge (UK): Cambridge University Press; 1991. p. 147–172.

52. Dehghanpir SD, Boudreaux B, Withers SS, Izquierdo A, Sasaki E, Piero FD, Braden M, Mitchell MA. Chemotherapy-responsive acute myeloid leukemia in a veiled chameleon (*Chamaeleo calypttratus*). *J Herpetol Med Surg*. 2021;31(4):257–263.
53. DeNardo D. Dystocias. In: Mader DR *Reptile Medicine and Surgery*. 2nd ed. St. Louis (MO): Elsevier; 2006. p. 787–792.
54. Diaz RE, Anderson CV, Baumann DP, Kupronis R, Jewell D, Piraquive C, Kupronis J, Winter K, Greek TJ, Trainor PA. Captive care, raising, and breeding of the veiled chameleon (*Chamaeleo calypttratus*). *Cold Spring Harb Protoc*. 2015;(10):943–949.
55. Díaz-Paniagua C. Effect of cold temperature on the length of incubation of *Chamaeleo chamaeleon*. *Amphib Reptilia*. 2007;28(3):387–392.
56. Díaz-Paniagua C, Cuadrado M. Influence of incubation conditions on hatching success, embryo development and hatchling phenotype of common chameleon (*Chamaeleo chamaeleon*) eggs. *Amphib Reptilia*. 2003;24(4):429–440.
57. Díaz-Paniagua C, Cuadrado M, Blázquez MC, Mateo JA. Reproduction of *Chamaeleo chamaeleon* under contrasting environmental conditions. *Herpetol J*. 2002;12(2):99–104.
58. Dierenfeld ES, Norkus EB, Carroll K, Ferguson GW. Carotenoids, vitamin A, and vitamin E concentrations during egg development in panther chameleons (*Furcifer pardalis*). *Zoo Biol*. 2002;21(3):295–303.
59. Dinter PS, Müller W. Tenacity of bacteria in the airborne state. III. Model studies on the epidemiology of *Pasteurella multocida* influenced by a tropical climate. *Zent Bakteriolog Mikrobiol Hyg*. 1984;179(2):139–150.
60. Divers SJ. Metabolic and endocrine diseases of reptiles - Exotic and Laboratory Animals [Internet]. Merck Veterinary Manual. 2020. Available from: <https://www.msddvetmanual.com/exotic-and-laboratory-animals/reptiles/metabolic-and-endocrine-diseases-of-reptiles>
61. Divers SJ. Reproductive diseases of reptiles - Exotic and Laboratory Animals [Internet]. Merck Veterinary Manual. 2020. Available from: <https://www.msddvetmanual.com/exotic-and-laboratory-animals/reptiles/reproductive-diseases-of-reptiles>
62. Divers SJ. Bacterial diseases of reptiles - Exotic and Laboratory Animals [Internet]. Merck Veterinary Manual. 2020. Available from: <https://www.msddvetmanual.com/exotic-and-laboratory-animals/reptiles/bacterial-diseases-of-reptiles>
63. Divers SJ, Stahl S J. Mader's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery. 3rd ed. St. Louis (MO): Elsevier; 2019. 1537 p.
64. Doneley B, Johnson R, Monks D, Carmel B. Reptile Medicine and Surgery in Clinical Practice. 1st ed. Hoboken (NJ): Wiley Blackwell; 2018. 495 p.
65. Donohue S. Nutrition. In: Mader DR *Reptile Medicine and Surgery*. 2nd ed. St. Louis (MO): Elsevier; 2006. p. 251–298.
66. Eckhardt F, Gehring P-S, Bartel L, Bellmann J, Beuker J, Hahne D, Korte J, Knittel V, Mensch M, Nagel D, Pohl M, Rostosky C, Vierath V, Wilms V, Zenk J, Vences M. Assessing sexual dimorphism in a species of Malagasy chameleon (*Calumma boettgeri*) with a newly defined set of morphometric and meristic measurements. *Herpetol Notes*. 2012;5(August 2012):335–344.

67. Eckhardt F, Kappeler PM, Kraus C. Highly variable lifespan in an annual reptile, Labord's chameleon (*Furcifer labordi*). *Sci Rep*. 2017;7(11397):1–5.
68. Eckhardt F, Strube C, Mathes K, Mutschmann F, Thiesler H, Kraus C, Kappeler P. Parasite burden in a short-lived chameleon, *Furcifer labordi*. *Int J Parasitol*. 2019;10(5):231–240.
69. Ekawasti F, Kitagawa K, Domae H, Wardhana A, Nagasawa J, Shibahara T, Tokoro M, Sasai K, Matsubayashi M. Phylogenetic characterization of *Isospora jaracimrmani* oocysts from a veiled chameleon (family Chamaeleonidae; *Chamaeleo calyptratus*) reared at a zoo in Ishikawa, Japan. *J Vet Med Sci*. 2021;83(8):1240–1243.
70. Ellerd R, Saleh MN, Luksovsky JL, Verocai GG. Endoparasites of pet reptiles and amphibians from exotic pet shows in Texas, United States. *Vet Parasitol Reg Stud Rep*. 2022;27(January 2022):100671.
71. Erokхина A, Cigler P, Runft S, Fehr M. Ovarian torsion with resulting constipation in a panther chameleon (*Furcifer pardalis*). *J Herpetol Med Surg*. 2021;31(4):264–271.
72. Escribano N, Ariño AH, Pino-Del-Carpio A, Galicia D, Miranda R. Global trends in research output by zoos and aquariums. *Soc Conserv Biol*. 2021;35(6):1894–1902.
73. Ewert MA. Cold torpor, diapause, delayed hatching and aestivation in reptiles and birds. In: Deeming DC, Ferguson MWJ *Egg incubation: It's effects on embryonic development in birds and reptiles*. Cambridge (UK): Cambridge University Press; 1991. p. 173–192.
74. Ferguson G, Kalish K, McKeown S. *Chameleons - Care and breeding of Jackson's, Panther, Veiled, and Parson's*. Irvine (CA): Advanced Vivarium Systems; 2007. 148 p.
75. Ferguson GW, Brinker AM, Gehrman WH, Bucklin SE, Baines FM, Mackin SJ. Voluntary exposure of some western-hemisphere snake and lizard species to ultraviolet-B radiation in the field: How much ultraviolet-B should a lizard or snake receive in captivity?. *Zoo Biol*. 2010;29(3):317–334.
76. Ferguson GW, Gehrman WH, Chen TC, Dierenfeld ES, Holick MF. Effects of artificial ultraviolet light exposure on reproductive success of the female panther chameleon (*Furcifer pardalis*) in captivity. *Zoo Biol*. 2002;21(6):525–537.
77. Ferguson GW, Gehrman WH, Karsten KB, Hammack SH, McRae M, Chen TC, Lung NP, Holick MF. Do panther chameleons bask to regulate endogenous vitamin D₃ production?. *Physiol Biochem Zool*. 2003;76(1):52–59.
78. Ferguson GW, Jones JR, Gehrman WH, Hammack SH, Talent LG, Hudson RD, Holick MF, Chen TC, Gross TS, Vogel JJ. Indoor husbandry of the panther chameleon *Chamaeleo [Furcifer] pardalis*: Effects of dietary vitamins A and D and ultraviolet irradiation on pathology and life-history traits. *Zoo Biol*. 1996;15(3):279–299.
79. Ferguson GW, Murphy JB, Ramanamanjato JB, Raselimanana AP. *The panther chameleon: Color variation, natural history, conservation, and captive management*. Malabar (FL); 2004. 118 p.
80. Ferrell ST. Population and public health - Conservation. In: *Mader's Reptile and Amphibian Medicine and Surgery*. 3rd ed. St. Louis (MO): Elsevier; 2019. p. 1421–1428.
81. Finlay T, James L, Maple T. People's perceptions of animals - The influence of zoo environment. *Env Behav*. 1988;20(4):508–528.

82. Frank W. Häufige Erkrankungen bei im Terrarium gehaltenen Amphibien und Reptilien. *Salamandra*. 1983;19(1):29–54.
83. Fravel L. Critics question zoos' commitment to conservation [Internet]. *National Geographic*. 2003. Available from: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/news-zoo-commitment-conservation-critic>
84. Gans C, Minnich JE. The use of water. In: Gans, C *Biology of the Reptilia*. London: Academic Press; 1982. p. 325–395.
85. Garcês A, Soeiro V, Lóio S, Prada J, Silva F, Pires I. Necropsy findings and causes of mortality in wild mammals, reptiles and amphibians in a wildlife centre in the North of Portugal. *Rev Electron Vet*. 2018;18(8):24.
86. Garner MM, Hernandez-Divers SM, Raymond JT. Reptile neoplasia: A retrospective study of case submissions to a specialty diagnostic service. *Vet Clin N Am Exot Anim Pract*. 2004;7(3):653–671.
87. Glaw F. Taxonomic checklist of chameleons (Squamata: Chamaeleonidae). *Vertebr Zool*. 2015;65(2):167–246.
88. Goldberg SR, Bursley CR. Helminths from three species of African chameleons. *Afr Zool*. 2008;43(2):270–272.
89. Grbic D, Saenko SV, Randriamoria TM, Debry A, Raselimanana AP, Milinkovitch MC. Phylogeography and support vector machine classification of colour variation in panther chameleons. *Mol Ecol*. 2015;24(13):3455–3466.
90. Gumpenberger M. Diagnostic imaging of reproductive tract disorders in reptiles. *Vet Clin N Am Exot Anim Pract*. 2017;20(2):327–343.
91. Hagey T, Losos J, Harmon L. Cruise foraging of invasive chameleon (*Chamaeleo jacksonii xantholophus*) in Hawai'i. *Breviora*. 2010;519(1):1–7.
92. Haxhiu D, Hoby S, Wenker C, Boos A, Kowalewski MP, Lewis F, Liesegang A. Influence of feeding and UVB exposition on the absorption mechanisms of calcium in the gastrointestinal tract of veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*). *J Anim Physiol Anim Nutr*. 2014;98(6):1021–1030.
93. Heatley JJ, Mitchell MA, Williams J, Smith JA, Tully TN. Fungal periodontal osteomyelitis in a chameleon, *Furcifer pardalis*. *J Herpetol Med Surg*. 2001;11(4):7–12.
94. Heckers KO, Aupperle H, Schmidt V, Pees M. Melanophoromas and iridophoromas in reptiles. *J Comp Pathol*. 2012;146(2–3):258–268.
95. Hedley J. Anatomy and disorders of the oral cavity of reptiles and amphibians. *Vet Clin N Am Exot Anim Pract*. 2016;19(3):689–706.
96. Heng Y, Sekar S d/o, Panarese R, Hsu C-D, Xie S. Management of a fatal outbreak of strongyloidiasis in a captive population of panther chameleons (*Furcifer pardalis*) with ivermectin. *J Zoo Wildl Med*. 2023;54(2):282–291.
97. Hernandez-Divers SJ, Innis CJ. Renal disease in reptiles: Diagnosis and clinical management. In: Mader DR *Reptile Medicine and Surgery*. 2nd ed. St. Louis (MO): Elsevier; 2006. p. 878–892.
98. Hernandez-Divers SM, Garner MM. Neoplasia of reptiles with an emphasis on lizards. *Vet Clin Exot Anim Pract*. 2003;6(1):251–273.

99. Herrel A, Meyers JJ, Aerts P, Nishikawa KC. The mechanics of prey prehension in chameleons. *J Exp Biol.* 2000;203(21):3255–3263.
100. Herrel A, Meyers JJ, Aerts P, Nishikawa KC. Functional implications of supercontracting muscle in the chameleon tongue retractors. *J Exp Biol.* 2001;204(21):3621–3627.
101. Hoby S, Clauss M, Aebischer A, Wenker C, Robert N, Liesegang A. Dry matter and calcium digestibility in captive veiled chameleons (*Chamaeleo calypttratus*). *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2012;96(5):778–782.
102. Hoby S, Wenker C, Robert N, Jermann T, Hartnack S, Segner H, Aebischer C, Liesegang A. Nutritional metabolic bone disease in juvenile veiled chameleons (*Chamaeleo calypttratus*) and its prevention. *J Nutr.* 2010;140(11):1923–1931.
103. Hoon-Hanks LL, Stöhr AC, Anderson AJ, Evans DE, Nevarez JG, Díaz RE, Rodgers CP, Cross ST, Steiner HR, Parker RR, Stenglein MD. Serpentovirus (nidovirus) and orthoreovirus coinfection in captive veiled chameleons (*Chamaeleo calypttratus*) with respiratory disease. *Viruses.* 2020;12(11):1329–1346.
104. Hosey G, Melfi V, Ward S. Problematic animals in the zoo: The issue of charismatic megafauna. In: Angelici FM, Rossi L Problematic Wildlife II. 1st ed. Switzerland: Springer; 2020. p. 485–508.
105. Huyghe A. Anatomie splanchnique du caméléon - Applications à la pratique vétérinaire [Doctorate's thesis]. École nationale vétérinaire d'Alfort, France; 2009.
106. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. The IUCN Red List of threatened species 2022 - Chamaeleonidae [Internet]. IUCN. 2022. Available from: <https://www.iucnredlist.org/en>
107. Irizarry-Rovira AR, Wolf A, Bolek M, Christian JA, DeNicola DB. Blood smear from a wild-caught panther chameleon (*Furcifer pardalis*). *Vet Clin Pathol.* 2002;31(3):129–132.
108. Jacobson ER, Telford SR. Chlamydial and poxvirus infections of circulating monocytes of a flap-necked chameleon (*Chamaeleo dilepis*). *J Wildl Dis.* 1990;26(4):572–577.
109. Jenkins RKB, Tognelli MF, Bowles P, Cox N, Brown JL, Chan L, Andreone F, Andriamazava A, Andriantsimanarilafy RR, Anjeriniaina M, Bora P, Brady LD, Hantalalaina EF, Glaw F, Griffiths RA, Hilton-Taylor C, Hoffmann M, Katariya V, Rabibisoa NH, Rafanomezantsoa J, Rakotomalala D, Rakotondravony H, Rakotondrazafy NA, Ralambonirainy J, Ramanamanjato J-B, Randriamahazo H, Randrianantoandro JC, Randrianasolo HH, Randrianirina JE, Randrianizahana H, Raselimanana AP, Rasolohery A, Ratsoavina FM, Raxworthy CJ, Robsomanitrondrasana E, Rollande F, van Dijk PP, Yoder AD, Vences M, Kamilar JM. Extinction risks and the conservation of Madagascar's reptiles. *PLoS ONE.* 2014;9(8):e100173.
110. Jensen EL, McClenaghan B, Ford B, Lentini A, Kerr KCR, Russello MA. Genotyping on the ark: A synthesis of genetic resources available for species in zoos. *Zoo Biol.* 2020;39(4):257–262.
111. Johnson JG, Naples LM, Chu C, Kinsel MJ, Flower JE, Van Bonn WG. Cutaneous squamous cell carcinoma in a panther chameleon (*Furcifer pardalis*) and treatment with carboplatin implantable beads. *J Zoo Wildl Med.* 2016;47(3):931–934.
112. Johnson JG, Watson MK. Diseases of the reptile renal system. *Vet Clin N Am Exot Anim Pract.* 2020;23(1):115–129.

113. Juan-Sallés C, Garner MM, Nordhausen R W, Valls X, Gallego M, Soto S. Renal flagellate infections in reptiles: 29 cases. *J Zoo Wildl Med.* 2014;45(1):100–109.
114. Junius-Bourdain F. *Caméléons: Biologie, élevage et principales affections* [Doctorate's thesis]. École nationale vétérinaire d'Alfort, France; 2006.
115. Kabeya H, Sato S, Maruyama S. Prevalence and characterization of *Chlamydia* DNA in zoo animals in Japan. *Microbiol Immunol.* 2015;59(9):507–515.
116. Karsten KB, Andriamandimbarisoa LN, Fox SF, Raxworthy CJ. A unique life history among tetrapods: An annual chameleon living mostly as an egg. *Proc Natl Acad Sci.* 2008;105(26):8980–8984.
117. Katz E, Tolley K, Altwegg R. Survival and abundance of Cape dwarf chameleons, *Bradypodion pumilum*, inhabiting a transformed, semi-urban wetland. *Herpetol J.* 2013;23(October 2013):186.
118. Keren-Rotem T, Levy N, Wolf L, Bouskila A, Geffen E. Alternative mating tactics in male chameleons (*Chamaeleo chamaeleon*) are evident in both long-term body color and short-term courtship pattern. *PLoS One.* 2016;11(7):e0159032.
119. Kinsel MJ, Barbiers RB, Manharth A, Murnane RD. Small intestinal adeno-like virus in a mountain chameleon (*Chamaeleo montium*). *J Zoo Wildl Med.* 1997;28(4):498–500.
120. Kolb S. Nutritional secondary hyperparathyroidism in reptiles. *Natl Assoc Vet Tech Am J.* 2017;(October/November):22–30.
121. Kramer MH. Veterinary management of chameleons. *Proc West Vet Conf.* 2006.
122. Kraus F, Medeiros A, Preston D, Jarnevich CS, Rodda GH. Diet and conservation implications of an invasive chameleon, *Chamaeleo jacksonii* (Squamata: Chamaeleonidae) in Hawaii. *Biol Invasions.* 2012;14(3):579–593.
123. Kubiak M. Chameleons. *Handbook of Exotic Pet Medicine.* 1st ed. Wiley Blackwell; 2020. p. 528.
124. Kubiak M, Denk D, Stidworthy MF. Retrospective review of neoplasms of captive lizards in the United Kingdom. *Vet Rec.* 2020;186(1):28–28.
125. Kummrow MS, Gilman C, Mackie P, Smith DA, Mastromonaco GF. Noninvasive analysis of fecal reproductive hormone metabolites in female veiled chameleons (*Chamaeleo calypttratus*) by enzyme immunoassay. *Zoo Biol.* 2011;30(1):95–115.
126. Kummrow MS, Pimm RH, Mackie PM, Tabh J, Mastromonaco GF. Fecal adrenal hormone patterns during ovulatory and non-ovulatory reproductive cycles in female veiled chameleons (*Chamaeleo calypttratus*). *Gen Comp Endocrinol.* 2021;310(September 2021):113822.
127. Kummrow MS, Smith DA, Crawshaw G, Mastromonaco GF. Characterization of fecal hormone patterns associated with the reproductive cycle in female veiled chameleons (*Chamaeleo calypttratus*). *Gen Comp Endocrinol.* 2010;168(3):340–348.
128. Laing CJ, Trube A, Shea GM, Fraser DR. The requirement for natural sunlight to prevent vitamin D deficiency in iguanian lizards. *J Zoo Wildl Med.* 2001;32(3):342–348.
129. Latney LV, Toddes BD, Wyre NR, Brown DC, Michel KE, Briscoe JA. Effects of various diets on the calcium and phosphorus composition of mealworms (*Tenebrio molitor* larvae) and superworms (*Zophobas morio* larvae). *Am J Vet Res.* 2017;78(2):178–185.

130. Laube A, Negro T, Augustin A. 781 days in the egg: Prolonged incubation time in *Calumma parsonii parsonii* (Cuvier, 1824) resulting in a healthy juvenile and revealing circumstantial evidence for sperm retention in this species. *Herpetol Notes*. 2020;13(117):425–428.
131. Leclerc A, Lamglait B, Petit T, Roman Y, Jebram J. Greater kudu (*Tragelaphus strepsiceros*) mortality in European zoological institutions: A retrospective study. *J Zoo Wildl Med*. 2016;47(2):531–539.
132. Lemaître J-F, Ronget V, Tidière M, Allainé D, Berger V, Cohas A, Colchero F, Conde DA, Garratt M, Liker A, Marais GAB, Scheuerlein A, Székely T, Gaillard J-M. Sex differences in adult lifespan and aging rates of mortality across wild mammals. *Proc Natl Acad Sci*. 2020;117(15):8546–8553.
133. Leus K. Captive breeding and conservation. *Zool Middle East*. 2011;54(sup3):151–158.
134. Lewis N, Martinson S, Wadowska D, Desmarchelier M. Malignant mixed chromatophoroma with cutaneous, pulmonary, and testicular metastases in a veiled chameleon (*Chamaeleo calyptratus*). *J Herpetol Med Surg*. 2015;25(1–2):16–20.
135. Lhermitte-Vallarino N, Barbuto M, Ineich I, Wanji S, Lebreton M, Chirio L, Bain O. First report of *Rhabdias* (Nematoda: Rhabdiasoidea) from lungs of montane chameleons in Cameroon: Description of two new species and notes on biology. *Parasite*. 2008;15(4):553–564.
136. Lhermitte-Vallarino N, Barbuto M, Junker K, Boistel R, Ineich I, Wanji S, Bain O. *Rhabdias rhampholeonis* n. sp. and *Rhabdias mariauxi* n. sp. (Nematoda, Rhabdiasoidea), first lung worms from leaf chameleons: Description, molecular evidence and notes on biology. *Parasitol Int*. 2009;58(4):375–383.
137. Maia JP, Crottini A, Harris DJ. Microscopic and molecular characterization of *Hepatozoon domerguei* (Apicomplexa) and *Foleyella furcata* (Nematoda) in wild endemic reptiles from Madagascar. *Parasite*. 2014;21(47):1–14.
138. Mans C, Braun J. Update on common nutritional disorders of captive reptiles. *Vet Clin N Am Exot Anim Pract*. 2014;17(3):369–395.
139. Marais GAB, Gaillard J-M, Vieira C, Plotton I, Sanlaville D, Gueyffier F, Lemaître J-F. Sex gap in aging and longevity: Can sex chromosomes play a role?. *Biol Sex Differ*. 2018;9(33):1–14.
140. Martinson SA, Skjonsberg C, Muckle CA, Spears J. Acute septicemia in a hermaphrodite veiled chameleon (*Chamaeleo calyptratus*) infected with *Mycobacterium chelonae* chemovar *niacinogenes*. *J Herpetol Med Surg*. 2019;29(1–2):21.
141. Mayer J, Huang J. Hypervitaminosis A in reptiles. *Today's Vet Pract*. 2018;8(6):68–71.
142. McAllister CT. A new species of *Choleoeimeria* (Apicomplexa: Eimeriidae) from Meller's chameleon, *Trioceros melleri* (Sauria: Chamaeleonidae). *J Parasitol*. 2012;98(5):1001–1002.
143. McAllister CT. A new species of *Choleoeimeria* (apicomplexa: eimeriidae) from Oustalet's chameleon, *Furcifer oustaleti* (Sauria: Chamaeleonidae). *Folia Parasitol*. 2012;59(1):12–14.

144. McAllister CT, Bursey CR, Connior MB. New host and distributional records for parasites (Apicomplexa, Trematoda, Nematoda, Acanthocephala, Acarina) of Texas herpetofauna. *Comp Parasitol.* 2017;84(1):42–50.
145. McAllister CT, Bursey CR, Freed PS. Helminth parasites (Cestoidea, Nematoda, Pentastomida) of selected herpetofauna from Cameroon, West Africa. *Acta Parasitol.* 2010;55(1):90–93.
146. McAllister CT, Bursey CR, Freed PS. Endoparasites (Cestoidea, Nematoda, Pentastomida) of reptiles (Sauria, Ophidia) from the Republic of Namibia. *Comp Parasitol.* 2011;78(1):140–151.
147. McAllister CT, Bursey CR, Freed PS. *Oochoristica chavenoni* (Cestoidea: Linstowiidae), *Abbreviata madagascariensis* (Nematoda: Physalopteridae), and *Hexameta angusticaecoides* (Nematoda: Ascarididae) in Malagasy Lizards (Sauria: Chamaeleonidae: Gekkonidae). *Comp Parasitol.* 2011;78(1):208–211.
148. McAllister CT, Upton SJ. Second report of *Isospora jaracimrmani* (Apicomplexa: Eimeriidae) from the Yemen chameleon, *Chamaeleo calypttratus* (Sauria: Chamaeleonidae), in Texas, U.S.A. *Comp Parasitol.* 2012;79(1):153–154.
149. McCracken H. Periodontal disease in lizards - A review of numerous cases. *Proc Am Assoc Zoo Vet.* 1994.
150. McGeough R. *Furcifer pardalis* (panther chameleon) – A brief species description and details on captive husbandry. *Biol Eng Med Sci Rep.* 2016;2(2):27–38.
151. McGowan PJK, Traylor-Holzer K, Leus K. IUCN guidelines for determining when and how *ex situ* management should be used in species conservation. *Conserv Lett.* 2017;10(3):361–366.
152. Measey GJ, Rebelo AD, Herrel A, Vanhooydonck B, Tolley KA. Diet, morphology and performance in two chameleon morphs: Do harder bites equate with harder prey?. *J Zool.* 2011;285(4):247–255.
153. Mendyk RW, Newton AL, Baumer M. A retrospective study of mortality in varanid lizards (Reptilia: Squamata: Varanidae) at the Bronx Zoo: Implications for husbandry and reproductive management in zoos. *Zoo Biol.* 2013;32(2):152–162.
154. Meyer J, Kolodziejek J, Häbich A-C, Dinhopf N, Richter B. Multicentric squamous cell tumors in panther chameleons (*Furcifer pardalis*). *J Exot Pet Med.* 2019;29(April 2019):166–172.
155. Miller HA. Urinary diseases of reptiles: Pathophysiology and diagnosis. *Semin Avian Exot Pet Med.* 1998;7(2):93–103.
156. Modrý D, Šlapeta JR, Koudela B. Six new species of *Coccidia* (Apicomplexa: Eimeriidae) from East African chameleons (Sauria: Chamaeleonidae). *J Parasitol.* 2000;86(2):373–379.
157. Modrý D, Šlapeta JR, Koudela B. *Eimeria hajeki* n. sp. (Apicomplexa: Eimeriidae), a new coccidian parasite of the pygmy chameleon, *Rampholeon temporalis* (Matschie, 1892) (Reptilia: Chamaeleonidae) from Usambara mountains, Tanzania. *J Parasitol.* 2001;87(5):1104–1105.

158. Morsy K, Ramadan N, Hashimi S, Ali M, Bashtar A-R. First description of the adult stages of *Postorchigenes* sp. (Trematoda: Lecithodendriidae) and *Malagashitrema* sp. (Trematoda: Homalometridae) infecting the common chameleon *Chamaeleo chamaeleon* (Reptilia: Chamaeleonidae) in Egypt. *Life Sci J*. 2012;9(4):400–405.
159. Mott R, Pellett S, Hedley J. Prevalence and risk factors for dental disease in captive central bearded dragons (*Pogona vitticeps*) in the United Kingdom. *J Exot Pet Med*. 2021;36(January 2021):1–7.
160. Müller K, Eule C. Retrobulbar abscess and preovulatory follicle stasis in a female veiled chameleon (*Chamaeleo calyptratus*). *Kleintierpraxis*. 2010;55(1):14–20.
161. Nečas P. Caméléons: Joyaux cachés de la nature. Edition Chimaira; 2004. 381 p.
162. Nielsen SV, Banks JL, Diaz Jr RE, Trainor PA, Gamble T. Dynamic sex chromosomes in Old World chameleons (Squamata: Chamaeleonidae). *J Evol Biol*. 2018;31(4):484–490.
163. Nordstrom LA. Tapirs and rhinoceroses in captivity: An examination of the North American captive populations and their husbandry [Doctorate's thesis]. Utah State University, USA; 2006.
164. Norton BB, Tunseth D, Holder K, Briggs M, C. Hayek L-A, Murray S. Causes of morbidity in captive African lions (*Panthera leo*) in North America, 2001–2016. *Zoo Biol*. 2018;37(5):354–359.
165. OECD. Enhancing access to and sharing of data: Reconciling risks and benefits for data re-use across societies [Internet]. 2019. 135 p. Available from: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/enhancing-access-to-and-sharing-of-data_276aaca8-en
166. O'Malley B. Lizards. In: O'Malley B Clinical Anatomy and Physiology of Exotic Species. Edinburgh: Saunders; 2005. p. 57–75.
167. Oonincx DGAB, Dierenfeld ES. An investigation into the chemical composition of alternative invertebrate prey. *Zoo Biol*. 2012;31(1):40–54.
168. Orós J, Castro P, Torrent A, Sicilia J, Casal AB, Ruiz A, Molina JM, Ferrer O, Déniz S. Immunohistochemical detection of microfilariae of *Foleyella species* in an Oustalet's chameleon (*Furcifer oustaleti*). *Vet Rec*. 2002;150(1):20–22.
169. Paré JA, Coyle KA, Sigler L, Maas AK III, Mitchell RL. Pathogenicity of the *Chrysosporium* anamorph of *Nannizziopsis vriesii* for veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*). *Med Mycol*. 2006;44(1):25–31.
170. Paré JA, Lentini AM. Reptile geriatrics. *Vet Clin Exot Anim Pract*. 2010;13(1):15–25.
171. Paré JA, Sigler L, Hunter DB, Summerbell RC, Smith DA, Machin KL. Cutaneous mycoses in chameleons caused by the *Chrysosporium* anamorph of *Nannizziopsis vriesii* (Apinis) Currah. *J Zoo Wildl Med*. 1997;28(4):443–453.
172. Patrick PG, Tunnicliffe SD. Rationale for the existence of zoos. In: Patrick PG, Tunnicliffe SD *Zoo Talk*. Springer; 2012. p. 19–35.
173. Peiffer LB, Sander S, Gabrielson K, Pessier AP, Allender MC, Waltzek T, Subramaniam K, Stilwell N, Adamovicz L, Bronson E, Mangus LM. Fatal ranavirus infection in a group of zoo-housed Meller's chameleons (*Trioceros melleri*). *J Zoo Wildl Med*. 2019;50(3):696.

174. Perry SM, Camlic SR, Konsker I, Lierz M, Mitchell MA. Characterizing the annual reproductive cycles of captive male veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*) and panther chameleons (*Furcifer pardalis*). *J Herpetol Med Surg*. 2023;33(1):45–60.
175. Pimm RH. Characterization of follicular stasis in a colony of female veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*) [Master's thesis]. University of Guelph, Canada; 2013.
176. Pimm RH, Dutton C, O'Handley S, Mastromonaco GF. Assessment of the reproductive status of female veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*) using hormonal, behavioural and physical traits. *Zoo Biol*. 2015;34(1):20–32.
177. Pipoly I, Bókony V, Kirkpatrick M, Donald PF, Székely T, Liker A. The genetic sex-determination system predicts adult sex ratios in tetrapods. *Nature*. 2015;527(7576):91–94.
178. Pleguezuelos J, Poveda J, Monterrubio R, Ontiveros D. Feeding habits of the common chameleon, *Chamaeleo chamaeleon* (Linnaeus, 1758) in the Southeastern Iberian Peninsula. *Isr J Zool*. 2013;45(2):267–276.
179. Primack RB. *Essentials of conservation biology*. Oxford University Press; 2006. 585 p.
180. Rafferty AR, Reina RD. Arrested embryonic development: A review of strategies to delay hatching in egg-laying reptiles. *Proc Biol Sci*. 2012;279(1737):2299–2308.
181. Raś-Noryńska M, Sokół R. Internal parasites of reptiles. *Ann Parasitol*. 2015;61(2):115–117.
182. Reaney LT, Yee S, Losos JB, Whiting MJ. Ecology of the flap-necked chameleon *Chamaeleo dilepis* in Southern Africa. *Breviora*. 2012;532(1):1–18.
183. Redbond J, Upton K. Captive husbandry and breeding of the Nguru spiny pygmy chameleon *Rhampholeon acuminatus*. *Herpetol Bull*. 2021;158(5):24–27.
184. ReptiFiles. Better lizard care sheets [Internet]. 2022. Available from: <https://reptifiles.com/lizard-care-sheets/>
185. Reptiles Magazine. Care sheets: Lizards [Internet]. 2023. Available from: <https://reptilesmagazine.com/care-sheets/lizards/>
186. Robinson JE, St. John FAV, Griffiths RA, Roberts DL. Captive reptile mortality rates in the home and implications for the wildlife trade. *PLoS One*. 2015;10(11):e0141460.
187. Romero SB, Knotek Z, Čížek A, Masaříková M, Myšková P. The incidence and antibiotic resistance of *Salmonella* species isolated from cloacae of captive veiled chameleons. *Acta Vet Brno*. 2015;84(3):209–213.
188. Roos EO, Van As J. Molecular detection of haemoparasites from South African squamates. [Bachelor's Dissertation]. University of the Free State, Qwaqwa Campus, Afrique du Sud; 2014.
189. Rovatsos M, Pokorná MJ, Altmanová M, Kratochvíl L. Female heterogamety in Madagascar chameleons (Squamata: Chamaeleonidae: *Furcifer*): Differentiation of sex and neo-sex chromosomes. *Sci Rep*. 2015;5(13196):1–9.
190. San Diego Zoo. Chameleon [Internet]. Available from: <https://animals.sandiegozoo.org/animals/chameleon>
191. Sannolo M, Carretero MA. Dehydration constrains thermoregulation and space use in lizards. *PLoS One*. 2019;14(7):e0220384.

192. Satour NS, Dewir AW. Some internal parasites of reptiles in Alexandria Province, Egypt. *Egypt Vet Med Soc Parasitol J*. 2018;14(1):98–114.
193. Schilliger L, Vergneau-Grosset C, Desmarchelier MR. Clinical reptile behavior. *Vet Clin N Am Exot Anim Pract*. 2021;24(1):175–195.
194. Schmid-Brunclik N, Stefka S-C, Madeleine K-B, Max G, Jean-Michel H. Liposarcoma in a veiled chameleon, *Chamaeleo calyptratus*. *J Herpetol Med Surg*. 2007;17(4):132–135.
195. Schmidt V. Fungal infections in reptiles - An emerging problem. *J Exot Pet Med*. 2015;24(3):267–275.
196. Schmidt V, Klasen L, Schneider J, Hübel J, Pees M. Fungal dermatitis, glossitis and disseminated visceral mycosis caused by different *Metarhizium granulomatis* genotypes in veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*) and first isolation in healthy lizards. *Vet Microbiol*. 2017;207(August 2017):74–82.
197. Schmidt V, Klasen L, Schneider J, Hübel J, Pees M, Warnock DW. Characterization of *Metarhizium viride* mycosis in veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*), panther chameleons (*Furcifer pardalis*), and inland bearded dragons (*Pogona vitticeps*). *J Clin Microbiol*. 2017;55(3):832–843.
198. Schmidt V, Plenz B, Pfaff M, Pees M. Disseminated systemic mycosis in veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*) caused by *Chamaeleomyces granulomatis*. *Vet Microbiol*. 2012;161(1–2):145–152.
199. Schmidt W. *Chamaeleo calyptratus*: The Yemen chameleon. Matthias Schmidt Publications; 2001. 79 p.
200. Segall M, Tolley KA, Vanhooydonck B, Measey GJ, Herrel A. Impact of temperature on performance in two species of South African dwarf chameleon, *Bradypodion pumilum* and *B. occidentale*. *J Exp Biol*. 2013;216(20):3828–3836.
201. Selleri P, Hernandez-Divers SJ. Renal diseases of reptiles. *Vet Clin N Am Exot Anim Pract*. 2006;9(1):161–174.
202. Sharma AK, Nayakwadi S, Chandratre GA, Saini M, Das A, Raut SS, Swarup D, Somvanshi R. Prevalence of pathological conditions in zoo/wild animals in India: A retrospective study based on necropsy. *Proc Natl Acad Sci India*. 2014;84(4):937–946.
203. Shopland S, Rodriguez Barbon A, ZooMed C, Cotton S, Whitford H, Barrows M. Retrospective review of mortality in captive pink pigeons (*Nesoenas mayeri*) housed in European collections: 1977-2018. *J Zoo Wildl Med*. 2020;51(1):159–169.
204. Sigler L, Gibas CFC, Kokotovic B, Bertelsen MF. Disseminated mycosis in veiled chameleons (*Chamaeleo calyptratus*) caused by *Chamaeleomyces granulomatis*, a new fungus related to *Paecilomyces viridis*. *J Clin Microbiol*. 2010;48(9):3182–3192.
205. Silverman S. Diagnostic Imaging. In: Mader DR *Reptile Medicine and Surgery*. 2nd ed. St. Louis (MO): Elsevier; 2006. p. 471–489.
206. Skibins JC, Powell RB. Conservation caring: Measuring the influence of zoo visitors' connection to wildlife on pro-conservation behaviors. *Zoo Biol*. 2013;32(5):528–540.

207. Sloboda M, Modrý D. New species of *Choleoeimeria* (Apicomplexa: Eimeriidae) from the veiled chameleon, *Chamaeleo calyptratus* (Sauria: Chamaeleonidae), with taxonomic revision of eimerian coccidia from chameleons. *Folia Parasitol.* 2006;53(2):91–97.
208. Smales LR. Acanthocephalans from some frogs and toads (Anura) and chameleons (Squamata) from Tanzania with the description of a new species. *J Parasitol.* 2005;91(6):1459–1464.
209. Snider AT. Longevity of reptiles and amphibians in North American collections. 2nd ed. Ithaca, N.Y: Society for the Study of Amphibians and Reptiles; 1992. iii+40 p.
210. Solanes F, Chiers K, Kik MJL, Hellebuyck T. Gross, histologic and immunohistochemical characteristics of keratoacanthomas in lizards. *Animals.* 2023;13(3):398.
211. Species360. Zoological Information Management System (ZIMS) [Internet]. Global Resources > Animal Management/Husbandry > Species Holding. 2021 [cited 2021 Jul 18]. Available from: <https://zims.species360.org/>
212. Stahl S. Veterinary management of Old World chameleons [Internet]. Stahl Exotic Animal Veterinary Services. 2007. Available from: <https://www.vetlocator.com/newsarticles/chameleons.php>
213. Stahl S. Hypervitaminosis A. In: Mayer J, Donnelly TM Clinical Veterinary Advisor. 3rd ed. Elsevier; 2013. p. 108–110.
214. Stahl SJ. Captive management, breeding and common medical problems of the veiled chameleon (*Chamaeleo calyptratus*). *Proc Assoc Reptil Amphib Vet.* 1997.
215. Stahl SJ. Pet lizard conditions and syndromes. *Semin Avian Exot Pet Med.* 2003;12(3):162–182.
216. Stets O. Parasites of panther chameleons (*Furcifer pardalis*) grown in captivity and brought from the wild. *J Vet Med Biotechnol Biosaf.* 2019;5(4):15–17.
217. Stöhr AC, Globokar-Vrhovec M, Pantchev N. *Choleoeimeria* spp. prevalence in captive reptiles in Germany and a new treatment option in a Lawson’s dragon (*Pogona henrylawsoni*). *J Herpetol Med Surg.* 2021;30(4):261–269.
218. Stuart-Fox D, Firth D, Moussalli A, Whiting M. Multiple signals in chameleon contests: Designing and analysing animal contests as a tournament. *Anim Behav.* 2006;71:1263–1271.
219. Széll Z, Sréter T, Varga I. Ivermectin toxicosis in a chameleon (*Chamaeleo senegalensis*) infected with *Foleyella furcata*. *J Zoo Wildl Med.* 2001;32(1):115–117.
220. Takahashi H. Fruit feeding behavior of a chameleon *Furcifer oustaleti*: Comparison with insect foraging tactics. *J Herpetol.* 2008;42(4):760–763.
221. Tang JW. The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. *J R Soc Interface.* 2009;6(Suppl. 6):S737–S746.
222. Tessa G, Glaw F, Andreone F. Longevity in *Calumma parsonii*, the world’s largest chameleon. *Exp Gerontol.* 2017;89(March 2017):41–44.
223. Thorel M, Pignon C, Arne P, Donnelly TM, Rivière J. Clouded leopard (*Neofelis nebulosa*) morbidity and mortality in captive-bred populations: A comprehensive retrospective study of medical data from 271 individuals in European, Asian and Australian zoos. *J Zoo Wildl Med.* 2020;51(1):150–158.

224. Tilbury CR. Chameleons of Africa: An atlas including the chameleons of Europe, the Middle East and Asia. 2010. 831 p.
225. Todd M. Trade in Magalasy reptiles and amphibians in Thailand. Selangor, Malaysia: Traffic Southeast Asia; 2011. 39 p.
226. Tolley K, Burger M. Chameleons of Southern Africa. Penguin Random House South Africa; 2012. 100 p.
227. Tolley K, Herrel A. The biology of chameleons. Berkeley (CA): University of California Press; 2013. 275 p.
228. Tong LJ, Ong W, Hulst F, Tobias G, Herrin KV, Vogelnest L. Clinical, diagnostic, and pathological features of 2 cases of metastatic iridophoroma in a veiled chameleon (*Chamaeleo calyptratus*) and a red-barred dragon (*Ctenophorus vadrappa*). J Exot Pet Med. 2018;27(4):53–60.
229. Trumpp K, Sander S, Sander W, Zimmerman D, Bronson E. Retrospective study of morbidity and mortality of African penguins (*Spheniscus demersus*) under managed care in North America: 2007-2018. J Zoo Wildl Med. 2021;52(4):1135–1142.
230. Uetz P, Hallermann J. Chamaeleonidae [Internet]. The Reptile Database. 2023. Available from: https://reptile-database.reptarium.cz/advanced_search?taxon=Chamaeleonidae&submit=Search
231. UNEP World Conservation Monitoring Centre. A review of barriers to the sharing of biodiversity data and information, with recommendations for eliminating them. Conference of the parties to the convention on biological diversity, 11th meeting; 2012. 30 p.
232. UNEP-WCMC. Review of *Calumma* and *Furcifer* species from Madagascar. Species subject to increased quotas in 2014 following removal of longstanding CITES and EU suspensions [Internet]. Cambridge (UK): UNEP World Conservation Monitoring Centre; 2015. Available from: <https://protectedareas.mg/document/show/223179>
233. Vergneau-Grosset C, Péron F. Effect of ultraviolet radiation on vertebrate animals: Update from ethological and medical perspectives. Photochem Photobiol Sci. 2020;19(6):752–762.
234. Veterinary Vision Center. Vitamin A deficiency in pet reptiles [Internet]. 2022. Available from: <https://veterinaryvisioncenter.com/vitamin-a-deficiency-in-pet-reptiles/>
235. Viets BE, Ewert MA, Talent LG, Nelson CE. Sex-determining mechanisms in squamate reptiles. J Exp Zool. 1994;270(1):45–56.
236. Vincent C, Raymond P, Reves-Gomez E, Cochet-Faivre N, Beguin J, Pignon C, Volait-Rosset L. Treatment of multifocal cutaneous squamous cell carcinoma with photodynamic therapy in a panther chamaeleon (*Furcifer pardalis*). Proc 76th ICARE Natl Cong. 2022.
237. Weil S-S, Gallien L, Lavergne S, Börger L, Hassler GW, Nicolai MPJ, Allen WL. Chameleon biogeographic dispersal is associated with extreme life history strategies. Ecography. 2022;October 2022(10):e06323.
238. Wilkinson SL, Divers SJ. Clinical management of reptile renal disease. Vet Clin N Am Exot Anim Pract. 2020;23(1):151–168.

239. Wolf D, Vrhovec MG, Failing K, Rossier C, Hermosilla C, Pantchev N. Diagnosis of gastrointestinal parasites in reptiles: Comparison of two coprological methods. *Acta Vet Scand.* 2014;56(44):1–13.
240. Womble M, Georoff TA, Helmick K, Carpenter NA, Joslin J, Tupa L, Tetzloff J, McAloose D. Mortality review for the North American snow leopard (*Panthera uncia*) zoo population from January 1999 to December 2019. *J Zoo Wildl Med.* 2021;52(1):145–156.
241. World Wide Travel Organisation. Weather and climate information for every country in the world. [Internet]. World Weather & Climate Information. 2022. Available from: <https://weather-and-climate.com:80/>
242. WorldData. Climate details in America, Europe, Asia, Africa, Australia and Oceania [Internet]. Worlddata.info. 2022. Available from: <https://www.worlddata.info/africa/madagascar/climate.php>
243. Wright K. Diagnosing and managing renal disease in reptiles. *Proc Assoc Reptil Amphib Vet.* 2013.
244. Yuschenkoff D, Bolch C, Phair K, West G, Goe A, Burns RE. Retrospective analysis of mortality causes in managed Kirk’s dik-diks (*Madoqua kirkii*) in North America from 1988 to 2019. *J Zoo Wildl Med.* 2022;53(2):349–356.
245. Ziegler T. The IUCN/SSC CPSG’s One Plan approach and the role of progressive zoos in conservation: Case studies from herpetology. *XIV Congr Naz Soc Herpetol Ital.* 2023;195–222.
246. Zilla. Expert reptile care sheets [Internet]. 2022. Available from: <https://www.zillarules.com/information/care-sheets>
247. Zwart P. Renal pathology in reptiles. *Vet Clin N Am Exot Anim Pract.* 2006;9(1):129–159.