



**HAL**  
open science

# **Dynamique des systèmes et des interactions hôte-pathogène-environnement dans l'éco-épidémiologie des zoonoses et des affections animales**

Komlan Toudji

► **To cite this version:**

Komlan Toudji. Dynamique des systèmes et des interactions hôte-pathogène-environnement dans l'éco-épidémiologie des zoonoses et des affections animales. Ecologie, Environnement. Université de Strasbourg; Université de Lomé (Togo), 2025. Français. ⟨NNT : 2025STRAJ112⟩. ⟨tel-05555438⟩

**HAL Id: tel-05555438**

**<https://theses.hal.science/tel-05555438v1>**

Submitted on 17 Mar 2026

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

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



HAL Authorization

Université

de Strasbourg

UNIVERSITÉ DE  
STRASBOURG

École doctorale

Sciences de la vie

et de la santé | ED 414

Université de Strasbourg

*ÉCOLE DOCTORALE 414 Sciences de la vie et de la santé*

**Institut pluridisciplinaire Hubert Curien**

**(IPHC) - UMR 7178 (France)**

*En cotutelle avec l'UNIVERSITE DE LOME (TOGO)*

*ÉCOLE DOCTORALE 732 Sciences, Technologies, Ingénierie et Santé*

THÈSE présentée par :

**Komlan TOUDJI**

Soutenue le : douze décembre deux mille vingt-cinq

Pour obtenir le grade de :

**Docteur de l'Université de Strasbourg**

Discipline : ECOLOGIE

**DYNAMIQUE DES SYSTEMES ET DES INTERACTIONS  
HOTE-PATHOGENE-ENVIRONNEMENT DANS L'ECO-  
EPIDEMIOLOGIE DES ZONOSSES ET DES AFFECTIONS  
ANIMALES**

THÈSE dirigée par :

**HABOLD Caroline**

**KETOH Guillaume Koffivi K.**

**Directrice de Recherche**, Université de Strasbourg

**Professeur**, Université de Lomé

RAPPORTEURS :

**LIGNOT Jehan-Hervé**

**MAVOUNGOU Jacques François**

**Professeur**, Université de Montpellier

**Professeur**, Université Internationale  
de Libreville Berthe & Jean

AUTRES MEMBRES DU JURY :

**AYRAL florence**

**SEGNIAGBETO Gabriel Hoinsoudé**

**Professeure**, VetAgro Sup, Campus  
vétérinaire, Unité BioMathématiques

**Professeur**, Université de Lomé

## **Avertissement au lecteur / Warning to the reader**

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition des membres de la communauté universitaire. Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Cela implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document. D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction ou représentation illicite encourt une poursuite pénale.

This document is the result of a long process approved by the jury and made available to members of the university community. It is subject to the intellectual property rights of its author. This implies an obligation to quote and reference when using this document. Furthermore, any infringement, plagiarism, unlawful reproduction or representation will be prosecuted.

### **[Code de la Propriété Intellectuelle](#)**

#### **[Article L122-4](#)** :

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction par un art ou un procédé quelconque.

Any representation or reproduction in whole or in part without the consent of the author or his successors in title or assigns is unlawful. The same applies to translation, adaptation or transformation, arrangement or reproduction by any art or process whatsoever.

**[Articles L335-1 à L335-9](#)** : Dispositions pénales / Penal provisions.

## **Licence attribuée par l'auteur / Licence attributed by the author**



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Komlan TOUDJI**

**Dynamique des systèmes et des Interactions Hôte-Pathogène-Environnement dans l'Eco-épidémiologie des Zoonoses et des affections Animales**

**Résumé**

Cette thèse, inscrite dans le cadre conceptuel One Health, analyse les interactions entre hôtes, pathogènes et environnement dans la dynamique des zoonoses. Fondée sur une comparaison entre Strasbourg (France) et Lomé (Togo) pour les populations de rats, ainsi que sur l'étude des systèmes avicoles togolais, elle vise à comprendre comment ces interactions façonnent les dynamiques zoonotiques dans des contextes écologiques contrastés, notamment en milieu urbain et dans les systèmes d'élevage. Les travaux portent sur les déterminants écologiques et sociaux de la distribution des rats, la diversité des agents pathogènes qu'ils hébergent, les interfaces rats-volailles, la diversité pathogène circulant chez les volailles locales et la caractérisation des systèmes et pratiques avicoles au Togo. Les résultats montrent une forte influence des facteurs anthropiques sur la distribution des rats urbains et des régimes infectieux différenciés selon les contextes : à Strasbourg, les populations monospécifiques dominées par *Rattus norvegicus* favorisent une circulation homogène des agents pathogènes au sein des populations, tandis qu'à Lomé, la coexistence de plusieurs espèces de rongeurs engendre une structuration plus hétérogène des infections. Au Togo, la proximité rats-volailles et la faible biosécurité favorisent les transmissions interspécifiques. Les systèmes d'élevage togolais révèlent une forte hétérogénéité structurelle et fonctionnelle, et les poulets d'élevage, exposés à la faune commensale et aux vecteurs, apparaissent comme des sentinelles épidémiologiques pertinentes. Cette recherche souligne l'importance des interactions socio-écologiques et plaide pour une surveillance intégrée des zoonoses dans une perspective One Health durable.

**Mots clés :**

One Health ; Zoonoses ; Rats ; Volailles ; Interactions hôte-pathogène-environnement ; Strasbourg ; Lomé.

**Title: System Dynamics and Host-Pathogen-Environment Interactions in the Eco Epidemiology of Zoonoses and Animal Diseases**

**Abstract**

This doctoral research, grounded in the One Health framework, investigates host-pathogen-environment interactions driving zoonotic dynamics. Based on a comparative study of rat populations in Strasbourg (France) and Lomé (Togo), as well as an analysis of poultry production systems in Togo, the research aims to understand how these interactions shape zoonotic dynamics in contrasting ecological contexts, particularly in urban environments and livestock production systems. The research focuses on the ecological and social determinants of rat distribution, the diversity of pathogens they harbour, rat-poultry ecological interfaces, the diversity of pathogens circulating in local poultry, and the characterization of poultry production systems and practices in Togo. Findings highlight the strong influence of anthropogenic factors on rat distribution and show that infection patterns vary according to ecological context: in Strasbourg, monospecific populations dominated by *Rattus norvegicus* promote a more homogeneous circulation of pathogens within populations, whereas in Lomé, the coexistence of several rodent species leads to a more heterogeneous structuring of infections. In Togo, close rat-poultry contact, and low biosecurity enhance cross-species pathogen transmission. Poultry production systems in Togo display marked structural and functional heterogeneity, and farmed chickens, exposed to commensal fauna and vectors, emerge as relevant epidemiological sentinels. This research underscores the importance of socio-ecological interactions in infectious disease dynamics and advocates for integrated and context-specific zoonotic surveillance within a sustainable One Health perspective.

**Keywords :**

One Health ; Zoonoses ; Rats ; Poultry ; Host-pathogen-environment interactions ; Strasbourg ; Lomé.

## **DEDICACE**

Je dédie ce travail au Professeure Florence AYRAL et au Docteur Jean Patrice ROBIN,  
A la famille TOUDJI.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une collaboration universitaire entre l'Université de Strasbourg et l'Université de Lomé, portant sur de nombreux aspects communs à la recherche scientifique. Il a également été rendu possible grâce au soutien et aux contributions de plusieurs personnes morales et physiques, à qui je souhaite exprimer ma profonde gratitude.

Je tiens ainsi à dire merci :

**Professeur Michel DENEKEN**, Président de l'Université de Strasbourg (France), pour avoir accepté mon inscription en thèse de doctorat en Sciences de la Vie et de la Santé à l'Université de Strasbourg.

**Professeur Kossivi HOUNAKE**, Président de l'Université de Lomé (Togo), pour avoir accepté mon inscription en thèse de doctorat en Sciences, Technologies, Ingénierie et Santé (STIS) à l'Université de Lomé.

**Professeur Maxime LEHMANN**, Directeur de l'École Doctorale Sciences de la Vie et de la Santé (ED414) de l'Université de Strasbourg, pour m'avoir accueilli au sein de cette école doctorale.

**Professeur Batomayena BAKOMA**, Directeur de l'École Doctorale Sciences, Technologies, Ingénierie et Santé (ED732 STIS) de l'Université de Lomé, pour m'avoir accepté au sein de cette école doctorale.

**Docteure Caroline HABOLD**, Directrice de recherche au CNRS, Directrice adjointe de l'École Doctorale ED414. Merci d'avoir accepté de diriger ce travail malgré vos multiples occupations. Vous avez su me guider dans mes choix et m'encourager. Je vous dois toute ma reconnaissance et mon admiration pour vos réalisations, votre humanité et votre ouverture d'esprit.

**Professeur Guillaume Koffivi K. KETOH**, Enseignant-chercheur à la Faculté des Sciences et Directeur du Laboratoire d'Écologie et d'Écotoxicologie (LaEE) de l'Université de Lomé. Merci d'avoir accepté de diriger ce travail malgré vos nombreuses responsabilités. Vous m'avez guidé, encouragé et fait preuve d'une constante disponibilité. Voici le fruit de vos conseils et orientations.

**Professeur Jehan-Hervé LIGNOT**, Enseignant-chercheur à l'Université de Montpellier, Unité Mixte de Recherche (UMR 9190) Marine Biodiversity Exploitation and Conservation (MARBEC), merci d'avoir accepté d'examiner mon travail malgré vos multiples occupations.

**Professeur Jacques François MAVOUNGOU**, Directeur de Recherches au CAMES, Enseignant-chercheur en entomologie médicale, écologie, parasitologie, microbiologie et

épidémiologie, Recteur de l'Université Internationale de Libreville Berthe & Jean. Merci d'avoir accepté d'évaluer mes travaux de recherche malgré vos nombreuses responsabilités.

**Professeure Florence AYRAL**, Directrice de recherche à VetAgro Sup, Campus vétérinaire, Unité BioMathématiques de Lyon. Merci d'avoir suivi ce travail depuis ses débuts en tant que membre du CSI jusqu'à son évaluation finale, et pour vos précieux apports.

**Professeur Hoinsoudé SEGNIAGBETO**, Enseignant-chercheur à la Faculté des Sciences de l'Université de Lomé, Merci d'avoir accepté d'évaluer mes travaux de recherche malgré vos nombreuses responsabilités.

**Professeure Sandrine COURTIN**, Directrice de recherche au CNRS, Directrice de l'Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC) de Strasbourg. Merci de m'avoir accueilli dans votre laboratoire et d'avoir mis à ma disposition les outils nécessaires au bon déroulement de ce travail.

**Professeur Kokou TONA**, Directeur du Centre d'Excellence de Recherche en Sciences Aviaires (CERSA) à l'Université de Lomé. Merci d'avoir accepté mon inscription au CERSA.

**Docteur Jean-Patrice ROBIN**, Enseignant-chercheur au CNRS (UMR 7178), merci pour vos accompagnements et encouragements.

**Professeur Abalo Essozimna KULO**, Directeur de l'École Supérieure d'Agronomie (ESA) de l'Université de Lomé. Vos conseils et encouragements m'ont toujours été très bénéfiques.

**Professeur Joseph Kokou TSIGBE**, Directeur de DIRECOOPs. Vous avez été pour moi un repère dans les moments difficiles. Merci sincèrement pour votre humanité.

**Professeur Ayikoé Guy Mensah-NYAGAN**, Directeur de l'Institut Universitaire de France, merci pour vos soutiens multiples et multiformes.

**M. Augustin FAVEREAU**, Ambassadeur de France au Togo, merci pour le soutien financier apporté par votre institution.

**Aux partenaires financiers**, Service de Coopération et d'Action Culturelle (**SCAC-Togo**), et programme **ERASMUS+**, sans vous, ce travail n'aurait pas pu aboutir. Je vous remercie sincèrement pour le soutien financier.

**Mme Nelly AGORO**, Responsable de mobilité à Campus France Togo, merci sincèrement pour le soutien financier apporté par votre institution — sans vous, ce travail n'aurait pas pu aboutir.

**Mme Sophie BUSSINGER**, Responsable de mobilité à Campus France Strasbourg, merci sincèrement pour le soutien financier apporté par votre institution.

**Docteur Nicolas GRIMMER**, Responsable de gestion des cotutelles internationales à l'Université de Strasbourg, merci pour vos soutiens et encouragements.

**Mme Géraldine SCHVERER**, Gestionnaire de l'école doctorale 414, merci pour vos conseils et orientations.

**Docteur Jean-Yves GEORGES**, Enseignant-chercheur au CNRS (UMR 7178), merci pour vos conseils et encouragements.

Aux **équipes des laboratoires partenaires** : Institut Pasteur de Paris, Laboratoire Alsacien d'Analyses, CHU de Reims et WESTLAB24. Je vous remercie sincèrement pour les services rendus — sans vous, ce travail n'aurait pas pu aboutir.

**Dr Koffi Mensah AHADJI-DABLA**, Maître de conférences à la Faculté des Sciences. Merci sincèrement pour votre courtoisie et vos conseils.

**Professeur Seth Wolali NYAMADOR**, Chef du Département de Zoologie et Biologie Animale à la Faculté des Sciences, merci pour vos encouragements et orientations

**Dr Délagnon ASSO**, mille et un mercis pour vos conseils et votre soutien.

**Mr. Kodjo Messan HOLA**, mille et un mercis pour vos précieux apports.

**Mme Fifadzi Edem EZIN**, merci pour tous vos soutiens.

À toute l'**équipe des chercheurs** du Département d'Eco-physiologie et Ethologie (DEPE/CNRS, UMR7178). Sans vos encouragements et vos orientations, ce travail n'aurait pas pu aboutir. Recevez ici l'expression de ma profonde gratitude.

À tous les **éleveurs** (M. Afinka, Pakonti, Sédodo, etc.) et **vétérinaires**, merci pour votre disponibilité et votre collaboration effective.

À tous mes **conseillers de circonstance** (André, Bruno, Laurent, Maurice, etc.), merci pour vos soutiens et vos conseils.

À toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce travail, je vous prie de trouver à travers ces lignes l'expression de ma reconnaissance et de ma gratitude pour tous les sacrifices consentis.

# TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	4
REMERCIEMENTS .....	5
TABLE DES MATIERES .....	8
LISTE DES TABLEAUX .....	10
LISTE DES FIGURES.....	11
LISTE DES PHOTOS.....	13
LISTE DES ANNEXES .....	13
SIGLES ET ABREVIATIONS .....	14
INTRODUCTION GENERALE .....	16
PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE : .....	20
Chapitre 1: Le concept « Une Seule Santé » (One Health).....	21
1.1 Définition du concept.....	21
1.2 Origine et évolution historique .....	21
1.3 Principes et axes fondamentaux .....	22
1.4 Limites et défis opérationnels .....	22
1.5 Comparaison avec EcoHealth et Planetary Health.....	23
1.6 Conclusion .....	23
Chapitre 2: Zoonoses associées aux rats (ZAR) .....	24
2.1 Zoonoses bactériennes.....	24
2.2 Zoonoses virales .....	25
2.3 Zoonoses parasitaires.....	26
2.4 Zoonoses fongiques.....	27
2.5 ZAR prioritaires en France .....	27
2.6 ZAR prioritaires au Togo .....	28
2.7 Synthèse et implications .....	29
2.8 Conclusion .....	29
Chapitre 3: Zoonoses associées aux volailles (ZAV) .....	30
3.1 Zoonoses bactériennes.....	30
3.2 Zoonoses virales .....	31
3.3 Zoonoses parasitaires.....	32
3.4 Zoonoses fongiques.....	32
3.5 ZAV prioritaires en France .....	33
3.6 ZAV prioritaires au Togo.....	33
3.7 Synthèse et implications .....	34
3.8 Conclusion .....	34
Chapitre 4: Interactions rats-volailles-humains et facteurs de risque .....	35
4.1 Dynamiques éco-épidémiologiques et transmission croisée.....	35
4.2 Facteurs environnementaux et climatiques.....	35

4.3 Impact de la mondialisation et des pratiques agricoles.....	36
4.4 Résistances antimicrobiennes et enjeux One Health.....	36
PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE LA THESE.....	38
PARTIE II : ETUDES DE TERRAIN SUR LES RATS ET INVESTIGATIONS ECO-EPIDEMIOLOGIQUES DES ZAR	
.....	41
Chapitre 5: Matériel et méthodes.....	42
5.1 Cadre d'études .....	42
5.2 Méthodologie .....	48
Chapitre 6: Ecologie et dynamique des populations de rats dans les contextes urbains de Lomé (Togo) et de l'Eurométropole de Strasbourg (France) .....	64
6.1 Introduction.....	64
6.2 Article 1 .....	65
6.3 -Article 2 .....	79
Chapitre 7: Interactions hôte–pathogène–environnement : cas des rats urbains de Lomé et de l'Eurométropole de Strasbourg.....	102
7.1 Introduction.....	102
7.2 Article 3 .....	103
PARTIE III : ETUDE DE TERRAIN SUR LES VOLAILLES ET INVESTIGATIONS ECO-EPIDEMIOLOGIQUE DES ZAV .....	137
Chapitre 8: Interactions rat–volaille-environnement et risques de transmissions croisées : Cas des élevages avicoles du Togo .....	138
8.1 Introduction.....	138
8.2 Article 4 .....	139
Chapitre 9: Interaction hôte-pathogène-environnement : cas des poulets locaux d'élevages avicoles du Togo.....	154
9.1 Introduction.....	154
9.2 Article 5 .....	155
Chapitre 10: Diversité des systèmes et pratiques avicoles au Togo .....	170
10.1 Introduction.....	170
10.2 Article 6 .....	171
DISCUSSION, CONCLUSION ET PERSPECTIVES GÉNÉRALES.....	187
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	204
ANNEXES.....	219

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Agents pathogènes recherchés et laboratoires partenaires.....	56
Tableau 2: Analyses statistiques.....	63
Tableau 3: Hypothesis and associated models tested on rat ecology and population dynamic.....	69
Tableau 4: Sex and age structure.....	70
Tableau 6: Rongeurs urbains de Lomé et de l'Eurométropole de Strasbourg.....	85
Tableau 7: Agents pathogènes recherchés et laboratoires partenaires.....	108
Tableau 8: Lésions et parasites observés chez les rongeurs urbains à Strasbourg .....	111
Tableau 9: Lésions et parasites observés chez les rongeurs urbains à Lomé .....	112
Tableau 10: Parasites identifiés chez <i>Rattus norvegicus</i> à Strasbourg .....	113
Tableau 11: Parasites identifiés chez les rongeurs à Lomé .....	113
Tableau 12: Bactéries identifiées chez <i>Rattus norvegicus</i> à Strasbourg.....	114
Tableau 13: Prévalence du virus de l'hépatite E-C1 chez <i>Rattus norvegicus</i> à l'EMS.....	116
Tableau 14: Prévalence du virus de l'hépatite E chez les rongeurs à Lomé.....	116
Tableau 15: Prévalence de <i>Toxoplasma gondii</i> chez <i>Rattus norvegicus</i> à l'EMS .....	117
Tableau 16: Prévalence de <i>Borrelia</i> spp. chez <i>Rattus norvegicus</i> à Strasbourg .....	118
Tableau 17: Prévalence de <i>Leptospira interrogans</i> chez <i>Rattus norvegicus</i> à l'EMS.....	119
Tableau 18: Affections recensées chez les volailles des élevages infestés par les rats au Togo .....	145
Tableau 19: Maladies détectées chez les rats des fermes d'élevage.....	145
Tableau 20: Morphotypes d'agents pathogènes détectés dans le sang des poulets locaux (Togo) .....	146
Tableau 21: Morphotypes d'agents pathogènes détectés dans le sang des rats des fermes d'élevage (Togo).....	148
Tableau 22: Maladies recensées dans les élevages avicoles familiaux et semi-commerciaux (Togo)	160
Tableau 23: Morphotypes d'agents pathogènes détectés chez les poulets locaux d'élevage (Togo)..	160
Tableau 24: Caractéristiques des typologies d'élevages identifiées au Togo.....	178

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme des chapitres du mémoire .....	19
Figure 2: Zone d'étude de l'Eurométropole de Strasbourg .....	43
Figure 3: Zone d'étude de Lomé .....	45
Figure 4: Sites d'échantillonnage des volailles au Togo .....	46
Figure 5: Évolution de la croissance urbaine au Togo et en France.....	47
Figure 6 : Sampling sites in Strasbourg Eurometropole.....	68
Figure 7: Effect of human population density (inhabitants/km <sup>2</sup> ) on <i>Rattus norvegicus</i> relative abundance.....	71
Figure 8: Effects of anthropogenic factors on <i>Rattus norvegicus</i> relative abundance across urban and peri-urban sites.....	71
Figure 9: Poisson Generalized linear mixed models (GLMMs) illustrating the effect of habitat types, seasons, and climatic variables on <i>Rattus norvegicus</i> abundance .....	72
Figure 10: Poisson Generalized linear mixed models (GLMMs) illustrating the effect of season, habitat types and climatic variables on <i>Rattus norvegicus</i> reproduction .....	73
Figure 11: Poisson Generalized linear mixed models (GLMMs) illustrating the effect of season, habitat types and climatic variables on <i>Rattus norvegicus</i> maturity .....	74
Figure 12: Analyse of variance (ANOVA) illustrating the difference in <i>R. norvegicus</i> body mass between sites (A) and sex (B).....	75
Figure 13: Analyse of variance (ANOVA) illustrating the difference in <i>R. norvegicus</i> body mass(g) between urban and peri-urban sites of Strasbourg Eurometropole.....	75
Figure 14: Ordination des écosystèmes urbains et distribution des rongeurs (A&B : Strasbourg ; C&D : Lomé) .....	87
Figure 15: Distribution des espèces de rongeurs selon les variables environnementales.....	88
Figure 16: Préférences d'habitat de <i>Rattus norvegicus</i> et <i>Rattus rattus</i> .....	88
Figure 17: Richesse et diversité spécifique des rongeurs entre milieux urbains et périurbains .....	89
Figure 18: Effet du site, du sexe et de la ville sur la masse corporelle des rongeurs (A&B : Strasbourg ; C&D : Lomé ; E&F : masse et taille entre villes) .....	91
Figure 19: Effet conjoint de la masse corporelle et de l'habitat sur la taille des rongeurs .....	91
Figure 20: Effets des variables environnementales, climatiques et saisonnières sur l'abondance relative des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé).....	92
Figure 21: Effets des variables environnementales, climatiques et saisonnières sur la reproduction des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé).....	93
Figure 22: Effets des variables environnementales, climatiques et saisonnières sur la maturation des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé).....	93
Figure 23: Influence de la densité humaine sur la prolifération des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé) .....	94
Figure 24: Influence des ressources anthropiques et environnementales sur la prolifération des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé).....	94
Figure 25: Abondance des ectoparasites (entre villes) .....	95
Figure 26: Abondance des ectoparasites entre milieux urbains et périurbains (A : Strasbourg ; B : Lomé) .....	96
Figure 27: Sites de capture des rongeurs à l'Eurométropole de Strasbourg (A) et à Lomé (B).....	106
Figure 28: Occurrence moyenne des agents pathogènes zoonotiques détectés chez les rongeurs selon les sites (A&C : Strasbourg ; B&D : Lomé).....	120
Figure 29: Occurrence moyenne des agents pathogènes zoonotiques détectés chez cinq espèces de rongeurs.....	121

Figure 30: Influence des facteurs extrinsèques et intrinsèques sur la richesse et la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez <i>R. norvegicus</i> (EMS) .....	122
Figure 31: : Effets de la taille (longueur tête-corps) sur la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez <i>R. norvegicus</i> (EMS).....	122
Figure 32: Influence des facteurs extrinsèques et intrinsèques sur la richesse spécifique des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs de Lomé.....	123
Figure 33: Effets de la masse corporelle (A) et de la taille (B) sur la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs de Lomé.....	123
Figure 34: Influence des facteurs extrinsèques et intrinsèques sur la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs de Lomé.....	124
Figure 35: Profils infectieux des agents pathogènes zoonotiques chez <i>R. norvegicus</i> selon les sites à l'EMS .....	125
Figure 36: Profils infectieux des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs selon les sites (A) et les espèces (B), les contributeurs sites (C), contributeurs espèces (D) .....	126
Figure 37: Influence des facteurs socio-écologiques et climatiques sur la distribution des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs.....	127
Figure 38: Évolution hebdomadaire de l'incidence du virus de l'hépatite E génotype C1 chez <i>R. norvegicus</i> à l'EMS .....	128
Figure 39: Évolution hebdomadaire de l'incidence du virus de l'hépatite E chez les rongeurs entre août et octobre 2024.....	129
Figure 40: Évolution hebdomadaire de l'incidence de <i>Toxoplasma gondii</i> chez <i>R. norvegicus</i> à l'EMS ; évolution globale (A), évolution par site (B) .....	130
Figure 41: Évolution hebdomadaire de l'incidence de <i>Borrelia</i> spp. chez <i>R. norvegicus</i> à l'EMS ....	130
Figure 42: Évolution hebdomadaire de l'incidence de <i>Leptospira interrogans</i> chez <i>R. norvegicus</i> à l'EMS .....	131
Figure 43: Co-infections des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs à l'EMS (E-F) et à Lomé (A-D).....	132
Figure 44: Occurrence moyenne des communautés d'agents pathogènes détectés chez les rats et les poulets .....	149
Figure 45: Co-infections d'agents pathogènes chez les poulets et les rats des fermes.....	150
Figure 46: Occurrence moyenne des agents pathogènes zoonotiques détectés chez les volailles selon la région.....	163
Figure 47: Profils infectieux des agents pathogènes zoonotiques chez les poulets locaux selon les sites d'élevage .....	164
Figure 48: Influence des facteurs écologiques et climatiques sur la distribution des agents pathogènes chez les poulets.....	164
Figure 49: Co-infections des agents pathogènes zoonotiques chez les poulets d'élevage .....	165
Figure 50: Influence des facteurs extrinsèques sur la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez les poulets locaux ( <i>Gallus gallus domesticus</i> ).....	166
Figure 51: Profils typologiques des élevages avicoles au Togo.....	175
Figure 52: Variance expliquée par dimension de l'ACP .....	176
Figure 53: ACP des variables contributeurs de la diversité des profils typologiques .....	176
Figure 54: Dendrogramme de diversité des profils typologiques des élevages.....	177
Figure 55: Pratiques avicoles selon la formation initiale de l'éleveur.....	179
Figure 56: Pratiques avicoles selon la région d'enquête au Togo .....	180
Figure 57: Profils des pratiques avicoles par région (chaque point représente un élevage).....	180
Figure 58: Pratiques avicoles et interactions interspécifiques déclarées par les éleveurs .....	181
Figure 59: Influence des facteurs extrinsèques et intrinsèques sur la diversité des pratiques avicoles.....	181

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Hôtes sources de l'étude .....	19
Photo 2: Piège artisanal localement conçu (A), Piège Hénon (B).....	50
Photo 3: habitat type de rat.....	51
Photo 4: Anesthésie des rats (A), identification morphométrie (B & C).....	53
Photo 5: Prélèvement et conservation des échantillons biologiques .....	54
Photo 6: Exemples d'analyses conduites sur les rats par les partenaires.....	57
Photo 7: Domaine vitale défini pour enregistrer les variables dominantes de l'habitat des rats .....	58
Photo 8: Calcul de l'indice de végétation du site prospecté sous le logiciel QGIS .....	59
Photo 9: Schéma méthodologique d'échantillonnage et d'analyse des volailles .....	61
Photo 10 : Rats urbains de Lomé.....	86
Photo 11: Rats urbains de Strasbourg.....	86
Photo 12 : Ectoparasites détectés .....	96
Photo 13: Espèces de rats détectées dans les poulaillers .....	144
Photo 14 : Lésions pathologiques chez les rats .....	145
Photo 15: Vue d'ensemble de la microfilaire chez les volailles.....	147
Photo 16: Vue d'ensemble de la microfilaire chez les rats.....	148
Photo 17: Vue d'ensemble des morphotypes de pathogènes détectés chez les volailles.....	162

## LISTE DES ANNEXES

<i>Annexe 1: Principales zoonoses virales, bactériennes, parasitaires et fongiques décrites chez les rats</i> .....	220
Annexe 2: Principales zoonoses virales, bactériennes, parasitaires et fongiques décrites chez les Volailles (ZAV).....	227
Annexe 3: lésions pathologiques recensées chez les rongeurs .....	233
Annexe 4: Maladies recensées chez les volailles .....	235
Annexe 5: Autres morphotypes d'agents détecté chez les volailles.....	236
Annexe 6: Questionnaire utilisé pour le terrain (inspiré de Souvestre, 2022).....	238

## SIGLES ET ABREVIATIONS

**ACP** : Analyse en composantes principales

**ADHS** : *Agglutination Directe sur Hématies Sensibilisées* (test sérologique utilisé notamment pour le diagnostic de la toxoplasmose)

**AMC** : Analyse des correspondances multiples

**ANSES** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (France)

**APAFIS** : Autorisation de projet utilisant des animaux à des fins scientifiques (France)

**ASC** : Auxiliaire de santé communautaire

**AVE** : Auxiliaire vétérinaire d'élevage

**BMR** : Bactéries multirésistantes

**CAH** : Classification ascendante hiérarchique

**CCA** : *Canonical Correspondence Analysis* (analyse canonique des correspondances)

**CNRS** : Centre national de la recherche scientifique (France)

**CPCV** : Consolidation pulmonaire cranio-ventrale

**DOM-TOM** : Départements et territoires d'outre-mer

**EFSA** : *European Food Safety Authority* (Autorité européenne de sécurité des aliments)

**EMS** : Eurométropole de Strasbourg

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (*Food and Agriculture Organization*)

**FAOSTAT** : Base de données statistique de la FAO sur l'agriculture et l'alimentation

**GaHV-1** : *Gallid alphaherpesvirus 1* (virus de la laryngotrachéite infectieuse aviaire)

**GaHV-2** : *Gallid alphaherpesvirus 2* (virus de la maladie de Marek)

**GLM** : *Generalized Linear Model* (modèle linéaire généralisé)

**GLMM** : *Generalized Linear Mixed Model* (modèle linéaire mixte généralisé)

**GPS** : *Global Positioning System*

**H5N1 / H5N8 / H7N9** : Sous-types de virus de la grippe aviaire hautement pathogène (*Highly Pathogenic Avian Influenza Virus*)

**HEV-C1** : *Hepatitis E Virus genotype C1* (virus de l'hépatite E de type C1, spécifique des rongeurs)

**IAHP** : Influenza aviaire hautement pathogène

**ICAT** : Institut de conseil et d'appui technique (Togo)

**INH** : Institut national d'hygiène (Togo)

**INSEE** : Institut national de la statistique et des études économiques (France)

**INSEED** : Institut national de la statistique et des études économiques et démographiques (Togo)

**L2A** : Laboratoire Alsacien d'Analyses

**MAEP** : Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (Togo)

**MHEV** : *Murine Hepatitis E Virus* (virus de l'hépatite E murine)

**NDC** : Maladie de Newcastle (*Newcastle Disease*)

**NDVI** : *Normalized Difference Vegetation Index* (indice de végétation par différence normalisée)

**NMDS** : *Non-metric Multidimensional Scaling* (ordination multidimensionnelle non métrique)

**OIE** : Office international des épizooties (ancien nom de l'OMSA)

**OLI** : *Operational Land Imager* (capteur optique du satellite Landsat-8)

**OMS** : Organisation mondiale de la santé

**OMSA** : Organisation mondiale de la santé animale (anciennement OIE)

**PCR** : *Polymerase Chain Reaction* (réaction en chaîne par polymérase)

**PNUE** : Programme des Nations Unies pour l'environnement

**QGIS** : *Quantum Geographic Information System* (logiciel libre de cartographie et d'analyse spatiale)

**qPCR** : *Quantitative Polymerase Chain Reaction* (PCR quantitative en temps réel)

**REMATO** : Réseau d'épidémiosurveillance des maladies animales au Togo

**RT-PCR** : *Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction* (PCR après transcription inverse)

**SAGIR** : Réseau national de surveillance de la faune sauvage (France)

**SARM** : *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline (*Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus*)

**SCP** : *Semi-automatic Classification Plugin* (module de classification semi-automatique, QGIS)

**SERV / SEOV** : *Seoul orthohantavirus*

**SIG** : Système d'information géographique

**USDA** : *United States Department of Agriculture*

**WENV** : *Wēnzhōu mammarenavirus*

**WHO** : *World Health Organization* (Organisation mondiale de la santé)

**ZAR** : Zoonoses associées aux Rats

**ZAV** : Zoonoses associées aux Volailles

## **INTRODUCTION GENERALE**

Les maladies infectieuses d'origine animale représentent une menace majeure pour la santé publique mondiale. Parmi elles, celles impliquant la faune sauvage comme réservoir constituent un risque croissant dans un contexte de profondes transformations environnementales et socio-écologiques (Collinge & Ray, 2006 ; Gaidet, 2016). On estime que plus de 14 millions de personnes meurent chaque année de maladies infectieuses, dont une part significative est liée à des agents pathogènes zoonotiques (WHO, 2022). Près de 75 % des maladies infectieuses émergentes recensées au cours des dernières décennies sont d'origine animale (OMSA, 2020). Ces phénomènes résultent de dynamiques complexes et interconnectées entre hôtes, agents pathogènes et environnement. Les modifications des écosystèmes et les pressions anthropiques — telles que l'urbanisation, l'intensification agricole ou la fragmentation des habitats — modifient la répartition des hôtes et la circulation des pathogènes. Par exemple, dans les milieux urbains, certains virus (tels que le *Seoul orthohantavirus* – SERV – ou le *Wenzhou mammarenavirus* – WENV) ont été identifiés principalement chez les rats urbains, suggérant une adaptation à ces écosystèmes (Blasdell *et al.*, 2022). De même, la fragmentation forestière a été mise en cause comme un facteur contribuant à l'émergence d'Ebola, en favorisant les contacts entre faune sauvage et populations humaines à la lisière des fragments (Wilkinson *et al.*, 2018). Ces transformations altèrent également la structure des communautés écologiques, souvent au profit d'espèces généralistes ou synanthropiques, ce qui influence fortement la dynamique des maladies (Pinto, 2015).

Dans ce contexte, l'approche intégrée « Une seule santé » (One Health), promue par la Quadripartite (FAO, OMSA, OMS et PNUE, 2022), met en avant l'interdépendance entre la santé humaine, animale et environnementale (FAO-OIE-OMS, 2021).

Comprendre ces interrelations dans les systèmes socio-écologiques, c'est-à-dire au sein des ensembles dynamiques combinant composantes biologiques (hôtes, pathogènes), sociales (pratiques, comportements, usages) et environnementales (milieux, ressources) — constitue une nécessité pour prévenir et contrôler l'émergence des zoonoses (Simms & Jeggo, 2014).

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, fondé sur une approche d'éco-épidémiologie visant à étudier la triade *hôte–pathogène–environnement* à travers des analyses de terrain, des observations écologiques et des investigations microbiologiques.

Deux groupes d'hôtes ont été retenus (Photo 1) : les rats (faune synanthropique) et les volailles (faune domestique, en particulier le poulet).

Les rats constituent des réservoirs reconnus de nombreux agents zoonotiques : plus de soixante espèces pathogènes ont été identifiées chez ces rongeurs, incluant virus, bactéries, parasites et champignons (Han *et al.*, 2015). Leur proximité avec les activités humaines en fait des vecteurs

potentiels importants (Ayrat, 2015). Les volailles, quant à elles, participent à la transmission de divers agents zoonotiques tels que *Campylobacter jejuni*, *Chlamydia psittaci*, les virus de la grippe aviaire (H5N1, H9N2), *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline (SARM) ou encore *Microsporium gallinae* (EFSA, 2023).

Ces deux groupes d'hôtes cohabitent dans des environnements propices aux interactions épidémiologiques — zones urbaines, élevages familiaux ou arrière-cours — formant un continuum faune sauvage–faune domestique–humain favorable au passage d'agents pathogènes. Ce continuum soulève des questions essentielles sur les mécanismes de circulation, de maintien et d'émergence des zoonoses dans les écosystèmes anthropisés.

Dans ce cadre, nous introduisons les acronymes ZAR (*Zoonoses associées aux Rats*) et ZAV (*Zoonoses associées aux Volailles*) pour désigner ces ensembles d'enjeux sanitaires spécifiques. Ces notions permettent de structurer l'analyse et de distinguer deux systèmes d'hôtes à forte importance épidémiologique dans les milieux anthropisés. Malgré l'attention croissante portée à ces zoonoses, les dynamiques éco-épidémiologiques sous-jacentes, les réservoirs impliqués et les facteurs de leur émergence demeurent encore mal connus. Ces lacunes limitent les capacités d'anticipation, de surveillance et de réponse aux risques zoonotiques.

L'objectif général de ce travail est de comprendre comment les interactions entre hôtes, pathogènes et environnement façonnent les dynamiques zoonotiques dans des contextes socio-écologiques, et d'apporter des éléments utiles à la gestion intégrée du risque sanitaire. L'étude repose sur la collecte de données de terrain (piégeage, analyses de prévalence, relevés environnementaux, enquêtes auprès des élevages) et sur l'utilisation d'outils de modélisation multi-hôtes, d'analyse spatiale et d'écologie des communautés, afin d'identifier les zones et les facteurs de risque et d'orienter les stratégies de surveillance et de contrôle.

L'architecture du manuscrit s'organise en trois grandes parties (Figure 1) :

- **Première partie** : revue bibliographique présentant l'état des connaissances sur le concept *Une seule santé* (chapitre 1), les zoonoses associées aux rats (chapitre 2), les zoonoses associées aux volailles (chapitre 3), les interactions rats–volailles–humains (chapitre 4) et les problématiques associées ;
- **Deuxième partie** : matériel et méthodes (chapitre 5), études de terrain sur les rats et investigations éco-épidémiologiques des ZAR (chapitres 6 et 7) ;
- **Troisième partie** : interactions rat–volaille–environnement (chapitre 8), études de terrain sur les volailles et investigations éco-épidémiologiques des ZAV (chapitres 9 et 10).

La discussion met ces résultats en perspective avec les approches actuelles de surveillance et de gestion intégrée des zoonoses.



Photo 1: Hôtes sources de l'étude

Rats et poulets domestiques ; A : *Rattus norvegicus*; B : *Gallus gallus domesticus* (Source : <https://www.letelegramme.fr/finistere/taule-29670/chiens-en-divagation-et-rappel-du-reglement-sanitaire-3681128.php> et <https://www.lesderatiseurs.fr/nuisible/rat-rongeur/>; consulté le 28/10/2025)

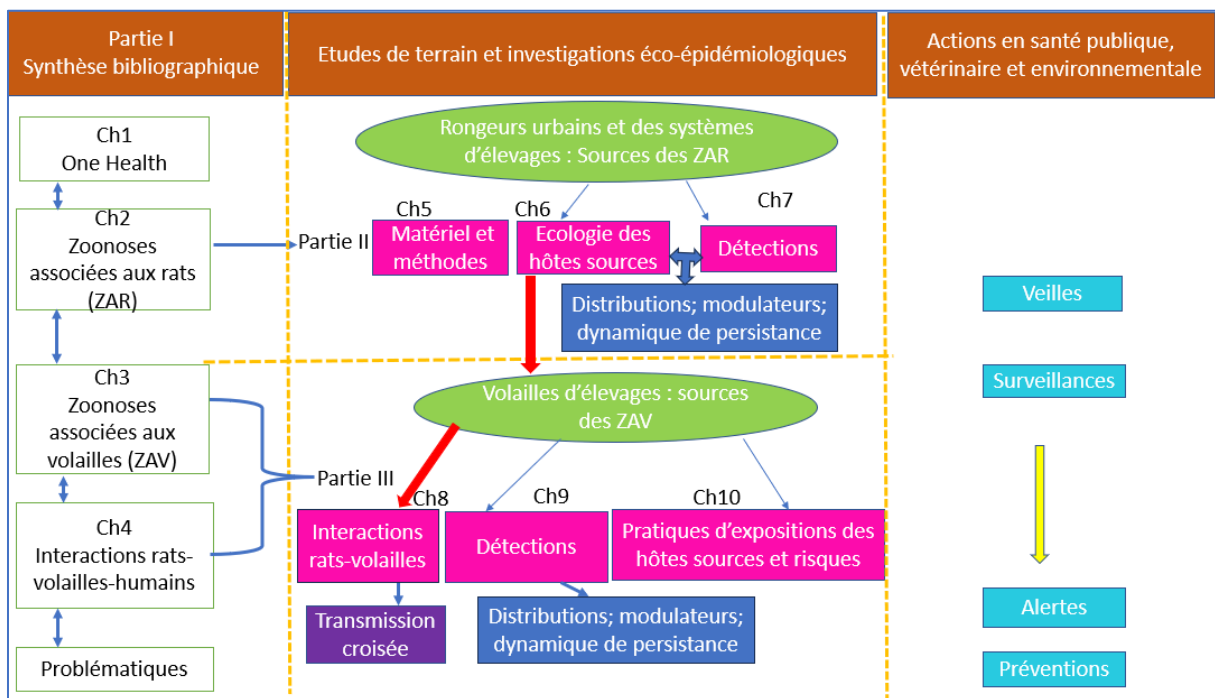


Figure 1: Organigramme des chapitres du mémoire

## **PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE :**

**le concept « une seule santé », les zoonoses associées aux rats (ZAR), les zoonoses associées aux volailles (ZAV), interactions rat-volaille-humains et les problématiques**

## **Chapitre 1: Le concept « Une Seule Santé » (One Health)**

Les crises sanitaires récentes, telles que la pandémie de COVID-19, les épidémies de grippe aviaire hautement pathogène (H5N1) ou encore l'émergence de zoonoses comme Ebola et le virus Nipah, ont mis en évidence les interconnexions étroites entre la santé humaine, la santé animale et la santé des écosystèmes. Ces événements ont souligné la nécessité d'une approche intégrée et systémique pour comprendre, prévenir et atténuer les risques sanitaires.

C'est dans ce contexte que le concept One Health, ou « Une Seule Santé », s'est imposé comme cadre stratégique pour relever les défis sanitaires globaux.

### **1.1 Définition du concept**

Selon la définition conjointe de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), de l'Organisation mondiale de la santé animale (OMSA), de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) (2022), One Health est une approche intégrée et unificatrice qui vise à « équilibrer et à optimiser durablement la santé des personnes, des animaux et des écosystèmes ».

Elle repose sur la reconnaissance de leur interdépendance et sur une coopération intersectorielle et transdisciplinaire. Cette approche promeut la collaboration entre disciplines scientifiques, institutions et acteurs de la santé publique, vétérinaire et environnementale pour répondre efficacement aux menaces émergentes.

### **1.2 Origine et évolution historique**

Le concept trouve ses racines dans les travaux du médecin allemand Rudolf Virchow (1821–1902), pionnier de la pathologie comparée, qui affirmait qu'il n'existait pas de séparation entre médecine humaine et médecine vétérinaire.

Plus tard, le vétérinaire épidémiologiste Calvin Schwabe formalisa cette idée dans les années 1980 sous le terme de « One Medicine », considéré comme le précurseur du concept One Health (Schwabe, cité dans Zinsstag *et al.*, 2015). Schwabe insistait sur les bénéfices sanitaires et économiques d'une approche intégrée du contrôle des maladies animales et humaines.

L'évolution de cette vision vers One Health a été catalysée par plusieurs événements majeurs, notamment l'émergence du SARS-CoV en 2003 et de la grippe aviaire H5N1 en 2004, qui ont démontré la nécessité d'une approche coordonnée face aux menaces sanitaires globales.

La publication des 12 Principes de Manhattan en 2004 a marqué un tournant, soulignant l'importance d'une approche multidisciplinaire intégrant santé humaine, animale et environnementale.

La reconnaissance institutionnelle du concept a été renforcée lors de la conférence de Sharm El-Sheikh (2008), où l’OMS, la FAO, l’OIE (devenue OMSA) et la Banque mondiale ont officiellement adopté One Health comme un cadre stratégique de coopération (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018 ; FAO, OMSA, OMS & PNUE, 2022).

### **1.3 Principes et axes fondamentaux**

*One Health* repose sur une vision holistique, préventive et collaborative de la santé. Ses objectifs clés incluent la détection précoce des pathogènes, la prévention des émergences, la coordination intersectorielle et le renforcement de la résilience des systèmes de santé.

Cette approche s’articule autour de quatre piliers principaux :

1. Reconnaissance de l’interdépendance entre la santé humaine, animale et des écosystèmes (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018 ; WHO, 2022).
2. Intégration des données biologiques, sociales et environnementales pour comprendre les dynamiques épidémiologiques et écologiques (FAO, OIE & OMS, 2021).
3. Promotion d’une gouvernance sanitaire inclusive et intersectorielle, favorisant la collaboration entre institutions et disciplines (WHO, 2022).
4. Mobilisation transdisciplinaire des sciences biomédicales, sociales et environnementales afin de renforcer la prévention et la surveillance (WHO, 2022).

De plus, *One Health* s’appuie sur le principe de résilience systémique, qui vise à renforcer la capacité des sociétés à anticiper, absorber et s’adapter aux crises sanitaires.

### **1.4 Limites et défis opérationnels**

Malgré sa pertinence, la mise en œuvre de *One Health* fait face à plusieurs défis :

- Le manque de coordination entre secteurs et les cloisonnements institutionnels persistent, entravant les actions conjointes (FAO, OIE & OMS, 2021).
- Les inégalités de capacités techniques et financières entre pays limitent la mise en œuvre opérationnelle (The Lancet One Health Commission, 2022).
- Les dimensions environnementales demeurent souvent sous-représentées face aux approches biomédicales (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018).
- La faible intégration des sciences sociales et environnementales au sein des structures de gouvernance limite la transversalité souhaitée (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018).

En outre, les changements globaux — urbanisation, perte de biodiversité et changement climatique — accentuent les risques d’émergence et complexifient la gouvernance sanitaire (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018 ; WHO, 2022).

La difficulté d'évaluer quantitativement les bénéfices économiques ou sanitaires de *One Health* constitue également un frein à son adoption généralisée (Rüegg *et al.*, 2018).

### **1.5 Comparaison avec EcoHealth et Planetary Health**

*One Health* partage des fondements conceptuels avec d'autres approches intégrées visant à concilier santé et durabilité :

- EcoHealth, centrée sur les interactions entre santé et écosystèmes, s'intéresse particulièrement aux déterminants écologiques des maladies et à la gestion durable des ressources naturelles (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018).
- Planetary Health, développée plus récemment, analyse l'influence des systèmes économiques, politiques et sociaux sur la santé humaine et la stabilité planétaire (Myers & Frumkin, 2020).

Ces approches sont complémentaires et participent à une vision unifiée de la santé globale (*Global Health Convergence*), visant à repenser les relations entre sociétés humaines et systèmes naturels (Lerner & Berg, 2017 ; Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018).

*One Health* se distingue toutefois par son ancrage opérationnel dans la prévention, la surveillance et la gestion des zoonoses à l'interface humains–animaux–environnement (FAO, OMSA, OMS & PNUE, 2022).

### **1.6 Conclusion**

Le concept *One Health* offre un cadre scientifique et stratégique essentiel pour comprendre et gérer les interactions complexes entre humains, animaux et environnement dans un monde en mutation rapide.

Il fournit une base théorique robuste pour le présent travail, qui analysera les dynamiques d'interaction entre les hôtes (rats et volailles), leurs pathogènes et leurs environnements, afin de contribuer à la mise en place de systèmes de surveillance intégrée et à la prévention des zoonoses dans les écosystèmes anthropisés.

## Chapitre 2: Zoonoses associées aux rats (ZAR)

Les rats, principalement *Rattus norvegicus* (rat brun) et *Rattus rattus* (rat noir), sont des réservoirs majeurs pour de nombreux agents pathogènes (bactéries, virus, parasites, champignons) et constituent donc un enjeu important de santé publique (Firth *et al.*, 2014). Ces rongeurs prospèrent dans les milieux urbains, périurbains et ruraux, où leurs contacts étroits avec les populations humaines, les animaux domestiques et le bétail favorisent les opportunités de transmission (Himsworth *et al.*, 2013).

Dans la perspective d'une surveillance intégrée des pathogènes transmis par les rats, nous avons réalisé une revue de la littérature scientifique sur les agents zoonotiques identifiés chez ces espèces. Par souci de clarté et de concision, seules les informations essentielles sont présentées ici ; des tableaux synoptiques plus détaillés sont proposés en annexe 1.

### 2.1 Zoonoses bactériennes

Les zoonoses bactériennes sont parmi les plus documentées chez les rats (Han *et al.*, 2015). Les principales bactéries d'importance zoonotique associées aux rats incluent *Leptospira* spp. (leptospirose), *Salmonella enterica* (salmonellose), *Streptobacillus moniliformis* (streptobacillose, ou "rat-bite fever") et *Pasteurella multocida*, souvent impliquée dans des infections locales après morsure.

- Leptospirose : causée par des bactéries du genre *Leptospira*, elle est l'une des principales zoonoses mondiales associées aux rats. La transmission à l'humain se fait par contact direct (morsure, urine) ou indirect (eau, sols, objets contaminés). La prévalence est particulièrement élevée dans les zones urbaines défavorisées et inondables, où les conditions d'assainissement sont dégradées (Costa *et al.*, 2015). En Europe, les infections humaines sont sporadiques mais en augmentation dans certains contextes, notamment sous l'effet des épisodes d'inondation et du changement climatique (Picardeau, 2020).
- Salmonellose : les rats peuvent être porteurs asymptomatiques de *Salmonella enterica*, notamment les sérovars *Enteritidis* et *Typhimurium*, responsables de gastro-entérites chez l'humain. Ils peuvent contribuer à la contamination de l'environnement urbain ou des zones d'élevage, en particulier dans les élevages familiaux où l'hygiène est limitée (Firth *et al.*, 2014). Néanmoins, la voie de transmission principale à l'humain reste la chaîne alimentaire.

- Streptobacillose (rat-bite fever) : causée par *Streptobacillus moniliformis*, cette infection rare chez l'humain survient le plus souvent après morsure ou manipulation de rats infectés. Elle illustre le risque direct lié au contact rapproché humain–rat.
- Pasteurellose : *Pasteurella multocida* peut coloniser la cavité buccale des rats. Les morsures sont à l'origine d'infections locales parfois sévères chez l'humain.

Un enjeu croissant concerne les bactéries multirésistantes aux antimicrobiens (BMR). Des souches résistantes de *Salmonella* spp. et d'*Escherichia coli* ont été isolées chez des populations de rats urbains, suggérant que ces rongeurs peuvent participer à la circulation environnementale de gènes de résistance, notamment dans les milieux fortement anthropisés (Himsworth *et al.*, 2013). Cela souligne l'importance d'une surveillance microbiologique régulière aux interfaces humain–rat–élevage.

Des études menées dans plusieurs grandes villes ont montré qu'une proportion importante de rats capturés héberge au moins une bactérie d'intérêt zoonotique (Firth *et al.*, 2014). Ces résultats confortent l'idée que les rats urbains peuvent jouer un rôle de sentinelles sanitaires pour des pathogènes à potentiel humain.

## 2.2 Zoonoses virales

Les rats sont également impliqués dans la circulation de plusieurs virus d'importance en santé publique :

- **Hantavirus** : plusieurs espèces de rongeurs sont des réservoirs naturels des hantavirus, responsables chez l'humain de syndromes fébriles sévères, rénaux ou respiratoires. Le virus Seoul (SEOV), une souche d'hantavirus étroitement associée au rat brun (*Rattus norvegicus*), est désormais détecté dans de nombreuses populations de rats urbains en Europe et en Asie, et a été lié à des cas humains (Heyman *et al.*, 2019).
- **Virus Seoul (SEOV)** : SEOV circule chez les rats, y compris en milieu urbain européen. Il est zoonotique : l'infection humaine peut entraîner des syndromes de type fièvre hémorragique avec syndrome rénal. Sa détection chez des rats capturés dans plusieurs villes d'Europe occidentale, y compris en France, souligne un risque sanitaire émergent pour les professionnels exposés (Heyman *et al.*, 2019).
- **Hépatite E de rat (HEV-C1)** : des variants du virus de l'hépatite E associés aux rats ont été identifiés chez des rats urbains dans plusieurs métropoles, et des cas humains d'hépatite E sévère associés à ces souches ont été décrits, ce qui suggère un potentiel zoonotique jusque-là sous-estimé (Sridhar *et al.*, 2018).

- **Arénavirus et fièvres hémorragiques virales** : des arénavirus zoonotiques, dont le virus Lassa, circulent en Afrique de l’Ouest. Le réservoir principal du virus Lassa est le rongeur péri-domestique *Mastomys natalensis*, mais dans les habitats humains denses, plusieurs espèces de rongeurs commensaux — y compris des rats — cohabitent étroitement avec les populations humaines. Cette cohabitation augmente le risque d’exposition humaine aux sécrétions ou excréta de rongeurs porteurs d’arénavirus (Ogbu *et al.*, 2019). Ici, les rats sont considérés comme un facteur d’exposition environnementale indirecte, plus que comme réservoir primaire du virus Lassa.

L’émergence et la détection accrue de virus zoonotiques chez les rats en milieu urbain illustrent la nécessité d’une surveillance intégrée à l’interface santé humaine – santé animale – environnement (FAO, OMSA, OMS & PNUE, 2022).

### 2.3 Zoonoses parasitaires

Les rats jouent aussi un rôle dans la transmission de plusieurs parasites d’intérêt médical ou vétérinaire :

- **Toxoplasmose** : *Toxoplasma gondii* peut infecter les rats. Ces derniers servent alors de proies aux chats, hôtes définitifs du parasite. Ce cycle renforce la circulation environnementale d’ocystes résistants, qui peuvent ensuite contaminer l’humain par l’environnement (Dubey, 2022).
- **Helminthiases, dont Hyménolepiasis** : les rats sont des réservoirs pour des cestodes comme *Hymenolepis nana*, responsable d’infections intestinales humaines, en particulier chez les enfants vivant dans des environnements à forte promiscuité homme–rat.
- **Trichinellose** : des nématodes du genre *Trichinella* peuvent infecter certains rongeurs sauvages, y compris des rats, mais leur rôle comme source d’infection humaine est généralement considéré comme secondaire par rapport à d’autres animaux (porc mal cuit, gibier).
- **Leishmaniose** : dans certains contextes tropicaux, des rongeurs commensaux peuvent servir de réservoirs secondaires pour des *Leishmania* spp., contribuant localement à la transmission via les phlébotomes (Alvar *et al.*, 2012).

Le rôle des rats est particulièrement important dans la contamination environnementale (eaux stagnantes, sols, zones d’entreposage de déchets), qui constitue un relais indirect entre faune synanthropique et santé humaine.

## 2.4 Zoonoses fongiques

Les zoonoses fongiques associées aux rats sont moins fréquentes, mais certaines situations exposent les populations humaines :

- **Histoplasmose** : *Histoplasma capsulatum* est un champignon environnemental proliférant dans des sols riches en matière organique et en excréments d'animaux. Les rats peuvent contribuer à l'entretien de milieux clos insalubres (caves, bâtiments abandonnés) favorables au développement du champignon, qui peut être inhalé sous forme de spores et provoquer des infections respiratoires parfois sévères chez l'humain (Kauffman, 2020). Les rats ne sont pas considérés comme réservoir biologique primaire, mais comme facilitateurs de contamination des environnements urbains dégradés.
- **Aspergillose** : les rats peuvent transporter mécaniquement des spores d'*Aspergillus fumigatus* dans des environnements poussiéreux et riches en matière organique (entrepôts, élevages). *A. fumigatus* est un agent opportuniste pouvant causer des infections respiratoires graves chez les personnes immunodéprimées (Lalgé & Chamilos, 2020).

## 2.5 ZAR prioritaires en France

En France, plusieurs zoonoses associées aux rats sont surveillées en santé publique et en santé animale :

- **Leptospirose** : plusieurs centaines de cas humains sont notifiés chaque année. Une recrudescence a été observée ces dernières années, notamment dans les départements et régions d'outre-mer et dans certains contextes urbains défavorisés où l'exposition à l'urine de rats est élevée (Picardeau, 2020).
- **Hantavirus** : différents hantavirus circulent chez les rongeurs.
- Le virus Seoul (SEOV), associé au rat brun (*Rattus norvegicus*), est désormais détecté chez des rats capturés en milieu urbain en Europe occidentale, y compris en France (Picardeau, 2020).
- Le **virus Puumala**, quant à lui, est porté principalement par le campagnol roussâtre (*Myodes glareolus*) et provoque régulièrement des cas humains de syndrome rénal fébrile dans l'est de la France (Heyman *et al.*, 2019).

Il est donc essentiel de distinguer les rats urbains des autres rongeurs sauvages dans l'analyse du risque hantavirus.

- Infections bactériennes opportunistes liées aux morsures de rat (*Streptobacillus moniliformis*, *Pasteurella multocida*) : ces agents sont régulièrement impliqués dans des infections locales ou systémiques après morsure ou manipulation de rats, en particulier chez certaines professions (égoutiers, dératiseurs).

La surveillance de ces agents repose sur plusieurs dispositifs : réseaux universitaires de capture et d'analyse de rats, surveillance de la leptospirose humaine via Santé publique France, et caractérisation de certains virus émergents par les laboratoires de référence nationaux (ANSES, instituts hospitalo-universitaires). En revanche, il n'existe pas en France de système standardisé spécifiquement dédié à la surveillance continue des pathogènes portés par les rats urbains, contrairement à ce qui existe pour d'autres réservoirs sauvages (par exemple la faune sauvage réservoir de *Mycobacterium bovis* dans le cadre de la surveillance de la tuberculose bovine) (Réveillaud *et al.*, 2018).

## 2.6 ZAR prioritaires au Togo

Au Togo, la surveillance des zoonoses associées aux rats reste limitée par le manque de ressources diagnostiques, l'absence de réseaux structurés de suivi et le sous-diagnostic en milieu clinique.

- **Leptospirose** : bien que souvent non diagnostiquée en routine, des travaux menés en Afrique de l'Ouest suggèrent des niveaux élevés d'exposition humaine, notamment dans les environnements urbains à forte densité de rongeurs et à assainissement limité. Ceci laisse penser que la leptospirose pourrait être sous-estimée comme cause de fièvres aiguës non palustres.
- **Fièvres hémorragiques virales** : des arénavirus zoonotiques, dont le virus Lassa, sont endémiques dans plusieurs pays voisins d'Afrique de l'Ouest. Les échanges transfrontaliers, les marchés d'animaux vivants et l'habitat partagé entre humains et rongeurs péri domestiques indiquent un risque potentiel d'introduction ou de circulation locale (WHO, 2022).
- **Parasitoses intestinales** : des helminthes comme *Hymenolepis nana* ou des protozoaires comme *Cryptosporidium* spp. sont fréquemment retrouvés dans les contextes d'habitat précaire, où la cohabitation étroite entre humains, volailles, petits ruminants et rats facilite la contamination environnementale (Alvar *et al.*, 2012).

Le manque de données complètes, l'accès restreint au diagnostic spécialisé et l'absence de surveillance zoonotique structurée compliquent l'élaboration de politiques publiques ciblées et la mise en place de stratégies préventives.

## **2.7 Synthèse et implications**

En résumé, les rats jouent un rôle central dans la dynamique de plusieurs zoonoses bactériennes (notamment la leptospirose), virales (dont les hantavirus tels que le virus Seoul), parasitaires (helminthes intestinaux, *Toxoplasma gondii*) et, plus indirectement, fongiques. Toutefois, l'importance relative de chaque agent varie selon les contextes écologiques, socio-économiques et sanitaires.

## **2.8 Conclusion**

La France bénéficie de structures analytiques et de capacités de détection relativement avancées, même si la surveillance ciblée des rats urbains n'est pas pleinement institutionnalisée. Au Togo, les risques zoonotiques existent clairement à l'interface humain-rat, mais ils sont largement sous-décrits en raison du sous-diagnostic et de l'absence de réseaux de surveillance systématiques.

Cette connaissance préalable des zoonoses associées aux rats (ZAR) constitue une base essentielle pour orienter les diagnostics ciblés dans cette thèse et pour concevoir des approches de surveillance adaptées à des contextes contrastés (France vs Togo).

## Chapitre 3: Zoonoses associées aux volailles (ZAV)

Les volailles domestiques (principalement les poulets, mais aussi les canards, dindes et pintades) jouent un rôle clé dans la sécurité alimentaire, l'économie familiale et les moyens d'existence ruraux. Elles constituent toutefois des réservoirs ou des hôtes intermédiaires pour de nombreux agents pathogènes zoonotiques. Ces agents incluent des virus, des bactéries, des parasites et des champignons capables d'infecter l'humain directement (contact avec les animaux, exposition aux fientes, morsures, inhalation d'aérosols) ou indirectement (consommation d'aliments contaminés, eau, environnement) (Capua & Alexander, 2009 ; EFSA, 2023 ; FAO, 2023).

La dynamique des zoonoses aviaires varie selon les pratiques d'élevage (intensif vs basse-cour), les standards de biosécurité, la densité animale, l'accès aux soins vétérinaires, la réglementation sanitaire et les systèmes de surveillance. Dans un contexte de mondialisation des échanges (y compris commerce d'animaux vivants), la surveillance intégrée des zoonoses aviaires est devenue une priorité. Nous présentons ici une synthèse des principales zoonoses associées aux volailles. Les tableaux synoptiques détaillés figurent en annexe 2.

### 3.1 Zoonoses bactériennes

Les volailles sont à l'interface de plusieurs zoonoses bactériennes majeures :

- **Salmonellose** : *Salmonella enterica*, notamment les sérovars *Enteritidis* et *Typhimurium*, est l'une des principales causes d'infection d'origine alimentaire chez l'humain. La contamination intervient par la viande ou les œufs issus d'animaux infectés. En Europe, des programmes de contrôle vétérinaire, de biosécurité et de vaccination ont permis de réduire la prévalence dans les filières avicoles industrielles, mais des foyers persistent, notamment dans certaines filières alternatives et circuits courts (EFSA, 2023).
- **Campylobactériose** : *Campylobacter jejuni* et *Campylobacter coli* sont très fréquemment retrouvés chez les volailles. Ils constituent la première cause de gastro-entérite bactérienne humaine notifiée en Europe (WHO, 2022 ; EFSA, 2023). La contamination se fait le plus souvent via la manipulation ou la consommation de viande de volaille insuffisamment cuite.
- **Chlamydiose aviaire (psittacose/ornithose)** : causée par *Chlamydia psittaci*, elle peut être transmise à l'humain par inhalation d'aérosols de poussières ou de fientes sèches. Elle est particulièrement préoccupante pour les professionnels exposés (éleveurs,

abattoirs, marchés d'oiseaux) et peut provoquer des pneumonies atypiques sévères chez l'humain (Knittler & Sachse, 2015).

- **Infections à complexe *Mycobacterium avium*** : certaines souches du complexe *Mycobacterium avium* peuvent infecter l'humain, surtout les personnes immunodéprimées (Johansen *et al.*, 2020). Elles sont moins fréquentes mais restent surveillées dans les élevages intensifs et les abattoirs.

En France, ces agents font l'objet d'une surveillance coordonnée entre les autorités vétérinaires, l'ANSES, Santé publique France et les systèmes européens de l'EFSA. Dans des pays à ressources limitées, comme le Togo, la surveillance microbiologique est beaucoup moins structurée, ce qui complique l'évaluation réelle de l'incidence chez l'humain et rend difficile la mise en œuvre de mesures de contrôle adaptées (FAO, 2020 ; FAO, 2023).

### 3.2 Zoonoses virales

Les volailles constituent des hôtes clés pour plusieurs virus d'importance zoonotique :

- **Grippe aviaire (influenza A hautement pathogène)** : les sous-types H5N1, H5N8 et H7N9 sont considérés comme des menaces majeures pour la santé animale et, dans certaines circonstances, pour la santé humaine. La transmission à l'humain survient principalement lors de contacts étroits avec des oiseaux infectés ou leurs sécrétions. Depuis 2021, l'Europe connaît des vagues épidémiques de grippe aviaire hautement pathogène d'une ampleur inédite, touchant à la fois les élevages domestiques et les oiseaux sauvages, et entraînant des abattages massifs de volailles pour contenir les foyers (EFSA, 2023 ; WHO, 2023).

Dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest, y compris le Togo, des foyers de H5N1 hautement pathogène ont été notifiés de manière récurrente. Les marchés d'oiseaux vivants, les mouvements transfrontaliers d'animaux et le manque de biosécurité dans les élevages familiaux sont des facteurs de maintien et de diffusion du virus (FAO, 2023).

- **Maladie de Newcastle (NDV)** : le virus de la maladie de Newcastle est fortement pathogène pour les volailles et peut entraîner des mortalités élevées, surtout dans les élevages familiaux non vaccinés. Chez l'humain, l'infection est rare et en général bénigne, se manifestant principalement par des conjonctivites chez les personnes exposées professionnellement (Alexander *et al.*, 2012).
- **Virus de l'hépatite E aviaire** : des virus apparentés au virus de l'hépatite E circulent chez les volailles. Bien que la transmission directe des souches aviaires à l'humain ne soit pas confirmée à grande échelle, leur proximité génétique avec des souches infectant

les mammifères en fait un sujet d'inquiétude croissante pour la santé publique vétérinaire (Yugo & Meng, 2013).

Globalement, la grippe aviaire hautement pathogène (notamment H5N1) demeure la priorité de surveillance, compte tenu de son impact économique majeur sur les filières avicoles, de sa capacité de diffusion internationale rapide et de son potentiel zoonotique (WHO, 2024).

### 3.3 Zoonoses parasitaires

Les volailles participent aussi à la transmission de plusieurs parasites d'intérêt zoonotique ou sanitaire :

- **Cryptosporidiose** : *Cryptosporidium* spp. peut infecter les volailles et contaminer l'environnement par les fientes. Les oocystes résistent dans l'eau, ce qui pose un risque de transmission à l'humain, en particulier dans des contextes d'abattage artisanal ou d'approvisionnement en eau non contrôlé (Ryan *et al.*, 2021).
- **Giardiose** : *Giardia duodenalis* peut être détectée dans certains élevages avicoles, bien qu'elle soit plus classiquement associée aux mammifères domestiques. Elle peut contaminer l'eau et représenter un risque pour l'humain dans les contextes d'hygiène limitée.
- **Sarcocystose** : certaines espèces de *Sarcocystis* infectent les volailles et peuvent être transmises à l'humain par la consommation de viande insuffisamment cuite (Yugo & Meng, 2013).
- **Ascaridiose** : *Ascaridia galli* est un nématode fréquent dans les élevages traditionnels de volailles. Bien qu'il n'infecte pas directement l'humain, des charges parasitaires élevées affaiblissent les volailles et peuvent favoriser l'excrétion d'autres pathogènes zoonotiques dans l'environnement (Ryan *et al.*, 2021). Les systèmes d'élevage extensifs, sans contrôle vétérinaire régulier, sont particulièrement concernés.

### 3.4 Zoonoses fongiques

Les mycoses d'origine aviaire sont moins fréquemment rapportées comme zoonoses majeures, mais elles restent pertinentes dans certains contextes professionnels :

- **Aspergillose** : *Aspergillus fumigatus* est un champignon opportuniste qui se développe dans les litières humides, les silos d'aliments, les bâtiments d'élevage mal ventilés. L'inhalation de grandes quantités de spores peut provoquer des atteintes respiratoires sévères chez les volailles. Chez les travailleurs exposés (aviculture, abattage, manipulation des litières contaminées), l'inhalation de spores peut également entraîner

des pathologies respiratoires, en particulier chez les personnes immunodéprimées (Latgé & Chamilos, 2020).

- **Candidose** : des levures du genre *Candida* peuvent proliférer dans des environnements d'élevage humides et mal contrôlés. Elles provoquent surtout des infections opportunistes chez l'animal. Le risque zoonotique direct pour l'humain est faible, mais elles témoignent d'un déséquilibre sanitaire et d'un déficit d'hygiène dans les élevages.

### 3.5 ZAV prioritaires en France

En France, la surveillance des zoonoses aviaires est relativement structurée et repose sur une coordination entre autorités vétérinaires nationales, ANSES, Santé publique France et les systèmes européens de l'EFSA :

- **Grippe aviaire hautement pathogène (H5N1, H5N8)** : depuis 2021, plusieurs vagues d'influenza aviaire hautement pathogène ont touché les élevages et la faune aviaire sauvage, entraînant l'abattage préventif de millions d'oiseaux. L'impact économique et sanitaire en fait une priorité nationale de biosécurité (EFSA, 2023).
- **Salmonellose et campylobactériose** : ces zoonoses d'origine alimentaire représentent la grande majorité des cas humains attribuables à la consommation de produits avicoles. Elles font l'objet d'un suivi renforcé, incluant des plans nationaux de maîtrise, des contrôles vétérinaires et des mesures de traçabilité (EFSA, 2023).
- **Chlamydie aviaire (psittacose)** : des cas sporadiques, parfois sévères, continuent d'être signalés, en particulier chez les professionnels manipulant des oiseaux vivants (Knittler & Sachse, 2015).

### 3.6 ZAV prioritaires au Togo

Au Togo, la surveillance des zoonoses aviaires reste contrainte par des ressources financières et techniques limitées, une forte dépendance aux marchés d'oiseaux vivants et une biosécurité souvent très faible dans les élevages familiaux.

- **Grippe aviaire hautement pathogène (H5N1)** : des foyers ont été signalés de façon récurrente depuis le milieu des années 2010 en Afrique de l'Ouest. Les échanges transfrontaliers d'oiseaux vivants, l'absence de contrôle sanitaire systématique et les abattages informels augmentent les risques de diffusion aux humains et aux autres élevages (FAO, 2023).
- **Salmonellose et campylobactériose** : faute de systèmes de surveillance microbiologique systématique, les données sont rares. Toutefois, les conditions

d'abattage et de vente informelles, sans chaîne du froid ni contrôle vétérinaire, suggèrent un risque élevé de transmission à l'humain.

- **Parasitoses** : les élevages traditionnels présentent souvent des charges parasitaires importantes (nématodes intestinaux, *Cryptosporidium* spp.). Ce contexte favorise un état sanitaire fragile des animaux et augmente l'excrétion d'agents potentiellement zoonotiques dans l'environnement partagé avec les populations humaines.

L'absence de systèmes de surveillance structurés, combinée à une consommation fréquente de volailles issues de circuits informels, crée un contexte de vulnérabilité sanitaire pour les éleveurs, les détaillants et les consommateurs.

### **3.7 Synthèse et implications**

Les zoonoses associées aux volailles (ZAV) mettent en évidence la nécessité d'une approche intégrée combinant biosécurité des élevages, surveillance microbiologique, pratiques d'abattage sûres et formation des acteurs (éleveurs, vendeurs, vétérinaires, agents de santé humaine). Le contraste est fort entre la France, qui dispose de systèmes structurés de surveillance et de régulation, et le Togo, où ces systèmes restent embryonnaires et largement dépendants d'alertes ponctuelles ou de crises déclarées.

### **3.8 Conclusion**

Les rats et les volailles jouent tous deux un rôle clé dans la dynamique des zoonoses au contact des humains. Les rats, par leur omniprésence dans les milieux urbains, et les volailles, par leur importance alimentaire et économique, constituent des interfaces critiques de transmission d'agents pathogènes.

Dans ce travail, ces deux groupes d'hôtes sont donc considérés comme prioritaires :

- en France : focalisation sur les rats (ZAR), car la surveillance aviaire est déjà relativement institutionnalisée ;
- au Togo : approche plus exploratoire sur les deux systèmes (ZAR et ZAV), en raison du manque de données de base, du sous-diagnostic et de la proximité quotidienne entre humains, rats et volailles.

Ces chapitres fournissent ainsi le socle scientifique pour cibler les pathogènes à rechercher chez les rats et les volailles au cours de cette thèse.

## Chapitre 4: Interactions rats-volailles-humains et facteurs de risque

Les interactions entre les rats, les volailles et les humains sont au cœur des dynamiques d'émergence et de transmission des zoonoses. Ces interactions se produisent dans des environnements variés — fermes, marchés vivants, zones urbaines et périurbaines — où les contacts directs et indirects entre ces populations favorisent la circulation des agents pathogènes.

Comprendre ces dynamiques écologiques et socio-épidémiologiques est essentiel pour concevoir des stratégies efficaces de prévention et de contrôle dans une perspective One Health (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018 ; WHO, 2022).

### 4.1 Dynamiques éco-épidémiologiques et transmission croisée

Les rats et les volailles partagent fréquemment les mêmes habitats, notamment dans les élevages traditionnels, les marchés d'oiseaux vivants et les zones urbaines à forte densité humaine. Cette cohabitation crée des interfaces écologiques propices à la transmission d'agents pathogènes (Himsworth *et al.*, 2013).

Les rats peuvent contaminer l'eau, les aliments ou les surfaces par leurs excréments, servant ainsi de vecteurs indirects pour des bactéries zoonotiques telles que *Salmonella* spp. ou *Leptospira* spp. (Firth *et al.*, 2014).

La présence simultanée de volailles dans ces environnements contribue à l'amplification des cycles de transmission, en particulier dans les contextes où la biosécurité reste limitée (FAO, 2023).

Les voies de transmission peuvent être :

- **Directes**, par morsure, griffure ou contact avec des fluides contaminés ;
- **Indirectes**, via l'environnement (eau, sol, nourriture) ou des vecteurs mécaniques comme les insectes ;
- **Aériennes**, notamment pour des agents comme *Chlamydia psittaci*.

La co-circulation d'agents pathogènes chez les rats et les volailles accroît les opportunités de réassortiments ou de transfert de gènes entre souches apparentées, comme observé pour certains virus influenza (EFSA, 2023). Ces interactions renforcent la nécessité d'approches de surveillance intégrée à l'interface animal–environnement–humain.

### 4.2 Facteurs environnementaux et climatiques

Les changements climatiques et la dégradation des écosystèmes influencent fortement la dynamique des zoonoses.

L'augmentation des températures et des précipitations favorise la prolifération des rongeurs et la survie des agents pathogènes, notamment *Leptospira* spp., dont la transmission est amplifiée lors d'épisodes d'inondation (Altizer *et al.*, 2013).

De plus, l'urbanisation rapide et souvent non planifiée crée des habitats favorables pour les rats, tout en augmentant la proximité entre humains, volailles et faune synanthropique (WHO, 2022). La déforestation, motivée par l'expansion agricole et la production avicole, perturbe les écosystèmes et rapproche la faune sauvage des zones habitées. Ce processus augmente la fréquence des interfaces de contact et donc les opportunités de transmission interspécifique (Plowright *et al.*, 2021).

La gestion inadéquate des déchets et la contamination des eaux usées contribuent également à la diffusion de pathogènes hydriques tels que *Leptospira* spp. et *Cryptosporidium* spp. (WHO, 2022).

#### **4.3 Impact de la mondialisation et des pratiques agricoles**

La mondialisation a profondément modifié les dynamiques de propagation des zoonoses.

Le commerce transfrontalier de volailles, le transport international d'animaux vivants et les échanges de produits d'origine animale facilitent la diffusion rapide d'agents pathogènes à grande échelle (WHO, 2023).

Les marchés vivants, fréquents dans les pays en développement, constituent des points critiques de transmission, où de multiples espèces animales — y compris rats et volailles — cohabitent dans des conditions sanitaires précaires (FAO, 2023).

Dans les élevages intensifs, la densité élevée des animaux et la standardisation des pratiques augmentent le risque d'épidémies massives, comme observé avec les virus influenza aviaires H5N1 et H5N8 (EFSA, 2023).

À l'inverse, les systèmes d'élevage traditionnels, bien que moins denses, présentent souvent des déficits en biosécurité, favorisant la circulation de *Salmonella* spp. et *Campylobacter* spp. (EFSA, 2023 ; FAO, 2020).

Ces environnements mixtes, combinant faune domestique, synanthropique et humaine, constituent des zones de transition épidémiologique où les échanges infectieux sont facilités.

#### **4.4 Résistances antimicrobiennes et enjeux One Health**

L'usage intensif et parfois inapproprié des antibiotiques dans les élevages avicoles a favorisé l'émergence de bactéries multirésistantes (BMR) pouvant être transmises aux humains via les produits avicoles ou indirectement par les rats, qui colonisent les mêmes environnements (Van Boeckel *et al.*, 2019).

Des *Enterobacteriaceae* productrices de bêta-lactamases à spectre étendu (BLSE), telles que *Escherichia coli* et *Klebsiella* spp., ont été identifiées à la fois dans les environnements avicoles et chez les rats urbains (EFSA, 2023 ; Woolhouse *et al.*, 2015).

Ces phénomènes de résistance représentent une menace globale pour la santé publique et illustrent la nécessité d'une approche One Health intégrée, coordonnant la surveillance, la régulation et la réduction de l'utilisation des antimicrobiens dans les secteurs vétérinaire et humain (Blaak *et al.*, 2015).

## PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS DE LA THESE

Les interactions entre rats, volailles et humains mises en évidence dans les chapitres précédents soulignent la nécessité de repenser la surveillance épidémiologique dans une approche intégrée. Dans un contexte de mondialisation, de changement climatique et d'intensification des échanges, la mise en place de dispositifs de surveillance performants est essentielle pour prévenir et atténuer les impacts sanitaires, économiques et sociaux des maladies infectieuses émergentes (WHO, 2022). Ainsi, dans de nombreux pays, y compris la France et le Togo, bien que les dispositifs de surveillances existent, elles présentent encore plusieurs limites structurelles et fonctionnelles.

La France dispose de dispositifs robustes tels que le Réseau national de surveillance vétérinaire (SAGIR), les systèmes de déclaration obligatoire des zoonoses coordonnés par Santé publique France, et les réseaux européens encadrés par l'EFSA (EFSA, 2023).

Cependant, certaines lacunes persistent : les données issues de la santé humaine, animale et environnementale restent fragmentées, et la coordination intersectorielle demeure limitée, ce qui peut ralentir la détection et la réponse à des menaces émergentes comme la grippe aviaire ou la leptospirose (Salines *et al.*, 2017).

La surveillance de la faune sauvage y est bien développée pour certaines espèces (ex. sangliers, blaireaux via le dispositif Sylvatub), mais la faune synanthropique, notamment les rats urbains, reste peu intégrée dans ces systèmes (Réveillaud *et al.*, 2018).

Au Togo, la surveillance des zoonoses est assurée par l'Institut National d'Hygiène (INH) et le Réseau d'Épidémiosurveillance des Maladies Animales (REMATO), mais elle reste limitée par des ressources financières et techniques insuffisantes.

Les infrastructures de laboratoire et les capacités diagnostiques sont restreintes, et la sous-déclaration y est fréquente en raison du manque de formation et de sensibilisation (FAO, 2023 ; WHO, 2022).

La détection tardive de maladies comme la grippe aviaire, la leptospirose ou la salmonellose complique la gestion rapide des épidémies. La surveillance repose essentiellement sur des projets ponctuels soutenus par des partenaires internationaux (FAO, 2023).

En somme, les systèmes d'épidémiosurveillance des deux contextes (France et Togo), se heurtent à :

- une dépendance à la surveillance passive, fondée sur les cas cliniques ;
- une faible intégration des données environnementales ;
- un financement fragmenté et dépendant des projets temporaires ;

- des barrières institutionnelles entre secteurs de la santé humaine, animale et environnementale (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018).

Par ailleurs, il n'existe ni en France ni au Togo de système intégré prenant simultanément en compte les hôtes sauvages, domestiques et vecteurs. Cette lacune limite la compréhension des mécanismes d'entretien et de transmission des pathogènes. Il apparaît donc nécessaire de développer une approche intégrée, centrée sur les interactions entre hôtes, pathogènes et environnements, en s'appuyant sur le paradigme One Health.

L'objectif général est de comprendre comment les interactions entre hôtes, pathogènes et environnement façonnent les dynamiques zoonotiques dans des contextes socio-écologiques, et d'apporter des éléments utiles à la gestion intégrée du risque sanitaire.

Pour se faire, cette thèse repose sur une approche comparative entre deux contextes contrastés pour l'étude des rats :

- Lomé (Togo) : zone tropicale, urbanisation partiellement planifiée, contexte d'élevages traditionnels et système sanitaires moins avancés ;
- Eurométropole de Strasbourg (France) : zone tempérée, urbanisation planifiée, systèmes sanitaires avancés.

L'étude des volailles est menée exclusivement au Togo. Cette thèse répond à cinq hypothèses principales: (i) les rats de Lomé et de Strasbourg présenteraient des dynamiques écologiques distinctes ; (ii) leurs populations hébergeraient une diversité significative d'agents zoonotiques modulée par les contextes socio écologiques ; (iii) les interactions rats volailles pourraient favoriser les échanges infectieux ; (iv) les volailles hébergeraient une diversité d'agents pathogènes influencée par les variations environnementales et pratiques ; (v) les systèmes avicoles togolais présenteraient une diversité de profils et de pratiques favorisant les risques zoonotiques. Pour tester ces hypothèses, cinq objectifs spécifiques ont été définis : analyser les déterminants écologiques et sociaux de la distribution des rats ; identifier les agents pathogènes présents chez les rats ; étudier l'interface rats-volailles ; identifier les agents pathogènes circulant chez les volailles ; et caractériser la diversité des systèmes, des pratiques avicoles et interactions interspécifiques au Togo. Ce travail s'appuie donc sur la collecte de données de terrain (piégeages, analyses de prévalence, relevés environnementaux, enquêtes auprès des élevages) et sur l'utilisation d'outils de modélisation multi-hôtes, d'analyse spatiale et d'écologie des communautés.

Les résultats attendus permettront de renforcer les politiques de santé publique et vétérinaire, notamment dans les domaines du contrôle des populations murines, de la biosécurité avicole et de l'éducation sanitaire communautaire.

**PARTIE II : ETUDES DE TERRAIN SUR LES RATS ET  
INVESTIGATIONS ECO-EPIDEMIOLOGIQUES DES ZAR**

## **Chapitre 5: Matériel et méthodes**

### **5.1 Cadre d'études**

La description de la zone d'étude est essentielle pour comprendre les contextes environnementaux, démographiques et socio-économiques dans lesquels évoluent les populations humaines, animales et les agents pathogènes.

Cette section présente les principales caractéristiques géographiques, climatiques et écologiques des zones retenues pour ce travail : la France (avec un focus sur l'Eurométropole de Strasbourg) et le Togo (avec un focus sur Lomé, Tchamba, Farendè et Nanergou).

#### **Présentation de la zone d'étude 1 : La France**

Située en Europe occidentale, la France s'étend sur une superficie de 551 695 km<sup>2</sup> (INSEE, 2023). Elle est bordée par la mer du Nord et la Manche au nord, l'océan Atlantique à l'ouest et la mer Méditerranée au sud. Le pays partage des frontières terrestres avec la Belgique, le Luxembourg, l'Allemagne, la Suisse, l'Italie, Monaco, l'Espagne et l'Andorre. Sa position géographique en fait un carrefour européen majeur.

Le climat est globalement tempéré, avec des variations régionales : océanique à l'ouest, continental à l'est, montagnard dans les Alpes et les Pyrénées, et méditerranéen au sud (Météo-France, 2021).

La population française est estimée à environ 68 millions d'habitants en 2023 (INSEE, 2023), concentrée dans les grandes métropoles comme Paris, Lyon, Marseille et Strasbourg.

Le relief est diversifié : vastes plaines et plateaux au nord et à l'ouest, massifs montagneux au sud et à l'est (Alpes, Pyrénées, Massif central, Jura, Vosges) (Brunet, 2020). Les sols présentent une diversité marquée : alluviaux fertiles dans les vallées, calcaires dans les bassins sédimentaires et acides dans les massifs (FAO, 2021).

Les grands fleuves (Seine, Loire, Rhône, Garonne) jouent un rôle central dans l'agriculture, l'économie et l'approvisionnement en eau. La végétation comprend des forêts tempérées (chênes, hêtres, pins), des prairies et de vastes zones agricoles.

La faune est variée : cerfs, sangliers, renards, rapaces et oiseaux migrateurs, tandis que les zones urbaines abritent des espèces synanthropes comme les rats et les pigeons (Santé publique France, 2022).

## Présentation de l'Eurométropole de Strasbourg

L'Eurométropole de Strasbourg (Figure 2), situé dans la région du Grand Est de la France, compte environ 512147 habitants (INSEE, 2024), bénéficie d'un climat tempéré semi-continentale marqué par quatre saisons : hiver froid (novembre à mars), printemps (mars à mai), été modérément chaud (juin à septembre), et automne (septembre à novembre), avec une température moyenne annuelle d'environ 10,5 °C et une pluviométrie moyenne de 700 mm. (<https://fr.weatherspark.com/y/56493/>, dernière consultation, 12 août 2025).

Le relief est constitué de la plaine du Rhin, encadrée par les Vosges à l'ouest et la Forêt-Noire à l'est. L'urbanisation dense côtoie de nombreux espaces verts, conférant à la ville une biodiversité urbaine singulière (Ville de Strasbourg, 2022).

Sept sites d'échantillonnage ont été sélectionnés, représentant un gradient urbain-périurbain :

- Quartiers urbains denses : la Semencerie et le Campement (quartier de la Gare), le Campus CNRS et le parc de la Bergerie (Cronenbourg), le Danube (Neudorf) et l'Elsau.
- Zone périurbaine : la Wantzenau.

Les critères de sélection incluait l'accessibilité, la typologie d'habitat, l'hétérogénéité environnementale et les signalements fréquents de rats par les habitants.

Cette diversité de milieux permet d'évaluer l'effet du gradient d'urbanisation sur la dynamique des populations murines.

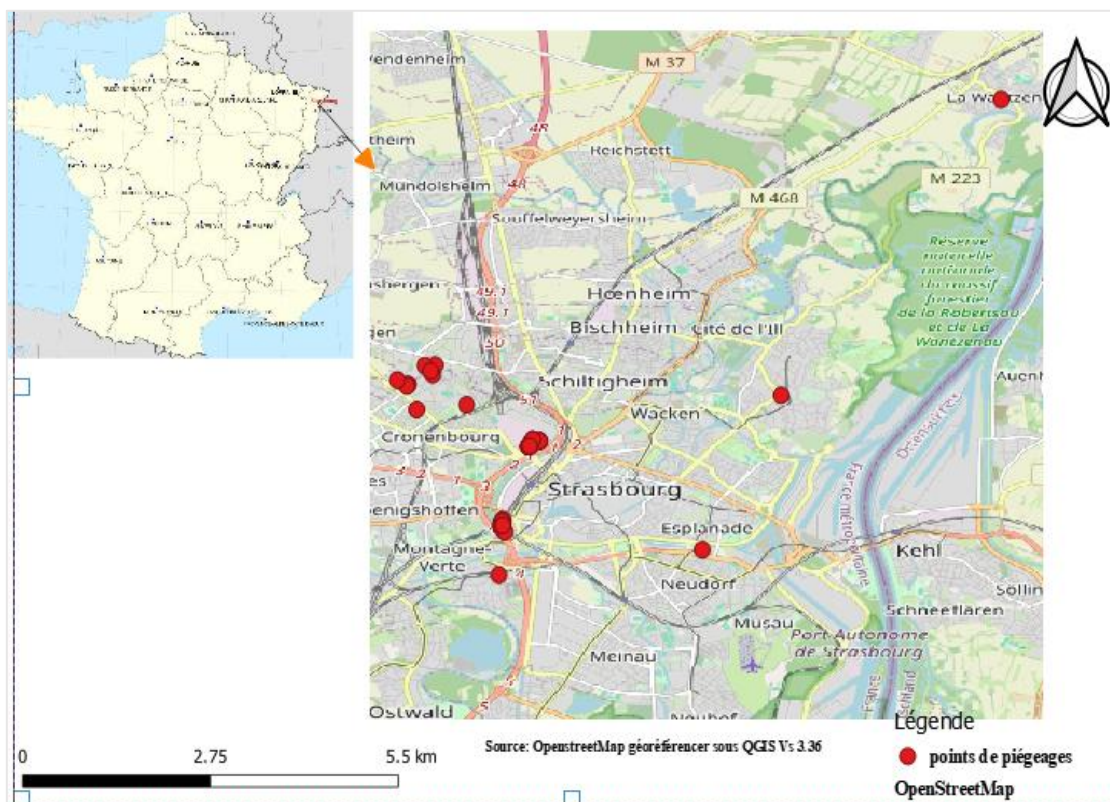


Figure 2: Zone d'étude de l'Eurométropole de Strasbourg

## **Présentation de la zone d'étude 2 : Le Togo**

Le Togo, pays d'Afrique de l'Ouest, couvre une superficie de 56 785 km<sup>2</sup> (INSEED, 2022). Il s'étend du golfe de Guinée au sud jusqu'au Burkina Faso au nord, et est limité à l'ouest par le Ghana et à l'est par le Bénin.

Sa forme allongée (environ 700 km du nord au sud pour 50 à 150 km de large) confère au pays une forte diversité géographique et climatique.

Le climat est tropical, avec deux saisons de pluies et deux saisons sèches au sud, et un régime à une seule saison pluvieuse au nord (FAO, 2023). Cette variabilité crée un gradient pluviométrique : humide au sud, plus sec au nord.

La population est estimée à 8,6 millions d'habitants en 2022 (INSEED, 2022), avec une densité plus forte dans la région maritime (autour de Lomé).

Le relief comprend une plaine côtière basse au sud, la chaîne montagneuse de l'Atakora au centre, et des plateaux au nord (Kokou et al., 2019). Les sols varient du sableux au ferrugineux tropical, selon les zones (FAO, 2021).

La végétation alterne entre forêts secondaires, savanes arbustives et savanes herbeuses. La déforestation liée aux activités agricoles a provoqué une forte régression des formations forestières (Kokou *et al.*, 2019).

La faune comprend des espèces de savane (antilopes, singes, phacochères) et une avifaune riche. Dans les zones habitées, la présence de rongeurs synanthropes (*Rattus rattus*, *Mastomys natalensis*) et de volailles domestiques est dominante (FAO, 2023).

## **Présentation de la ville de Lomé (région maritime)**

Capitale du Togo, Lomé (Figure 3) est située sur le littoral du golfe de Guinée. Elle compte environ 2,2 millions d'habitants (INSEED, 2022).

Le climat est subéquatorial, avec deux saisons de pluies et deux saisons sèches. L'urbanisation y est rapide, souvent informelle et marquée par une forte densité démographique.

Pour l'étude des rats, cinq sites d'échantillonnage ont été sélectionnés, répartis entre :

- Quartiers urbains : Totsi, Kégué-Kélégougan, Doumassessé.
- Zones périurbaines : Klobatème et Avéta.

Pour l'étude des volailles, douze exploitations avicoles ont été échantillonnées dans la région.

Les critères de choix incluaient l'accessibilité, la typologie d'habitat, la diversité environnementale et l'importance des élevages.

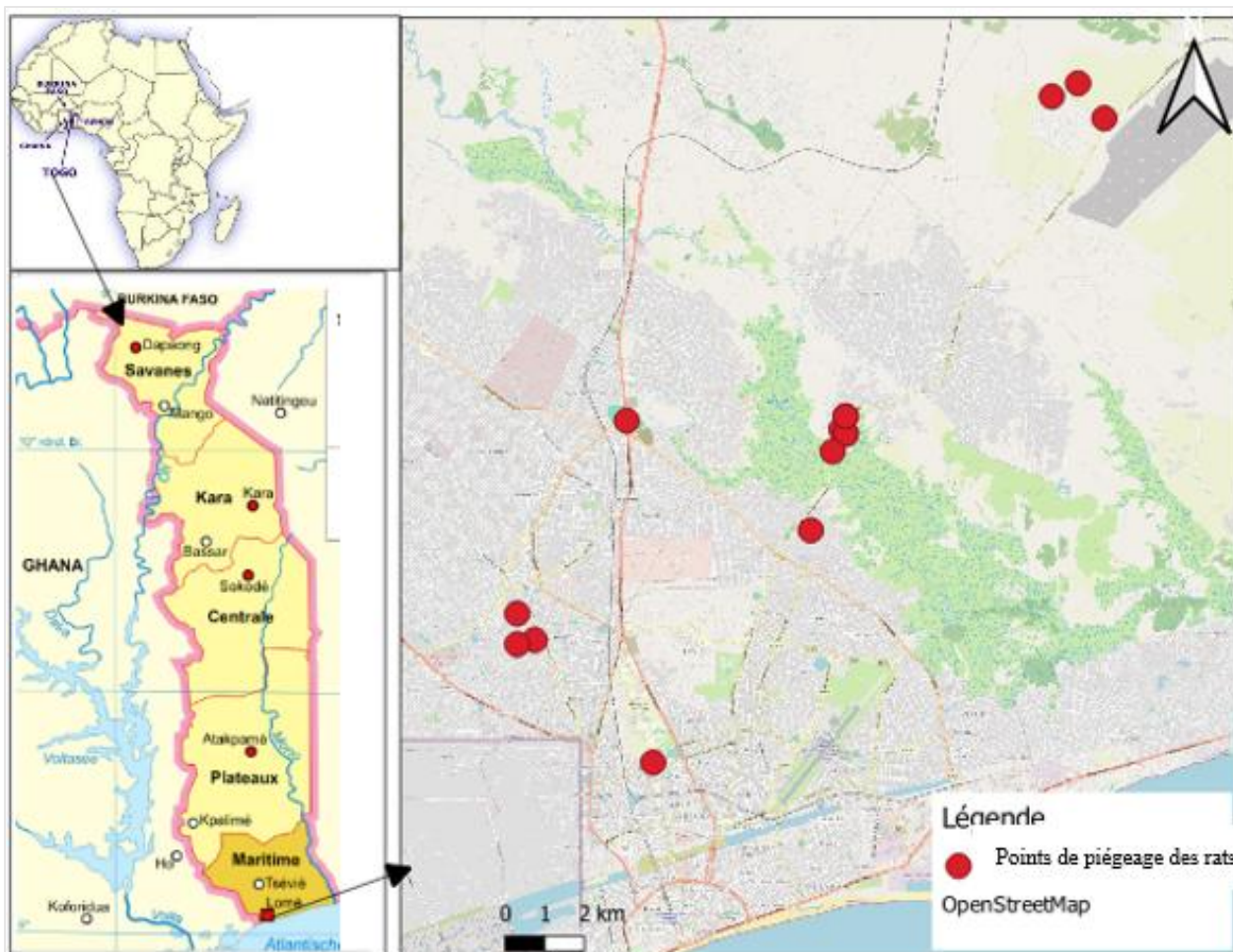


Figure 3: Zone d'étude de Lomé

### Présentation de Tchamba (région Centrale)

La préfecture de **Tchamba** (Figure 4), située dans la région Centrale, présente un relief vallonné et un climat tropical humide favorable à l'agriculture familiale et aux élevages traditionnels. Huit exploitations avicoles ont été sélectionnées pour l'échantillonnage, sur la base de l'importance des élevages et de leur accessibilité.

### Présentation de Farendè (région de la Kara)

**Farendè** (Figure 4), localité de la région de la Kara, se caractérise par un relief accidenté, un climat tropical soudanien et une végétation de savane arborée. Dix élevages avicoles y ont été sélectionnés pour l'échantillonnage.

### Présentation de Nanergou (région des Savanes)

**Nanergou** (Figure 4) est un village situé dans la région des Savanes, au nord du Togo. Le climat y est tropical soudanien, et la végétation de type savane herbeuse.

L'économie locale repose sur l'agriculture de subsistance et l'élevage extensif.

Douze élevages avicoles y ont été échantillonnés, représentant la diversité des pratiques agricoles régionales.

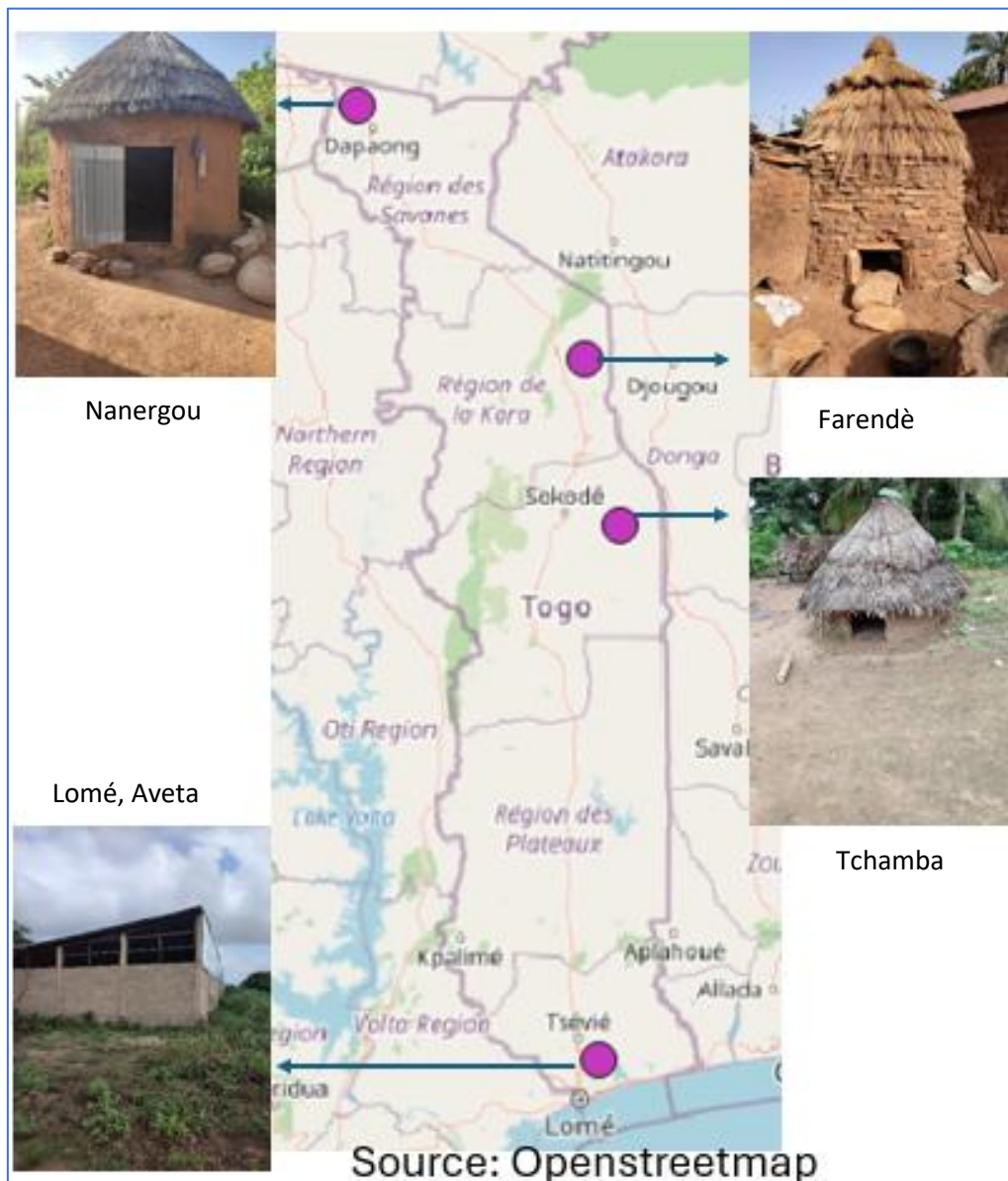


Figure 4: Sites d'échantillonnage des volailles au Togo

### Justification du choix comparatif (Togo et France)

Le choix de comparer la France et le Togo repose sur leurs contrastes écologiques, démographiques et sanitaires.

Ces deux contextes présentent des similitudes en termes de croissance urbaine soutenue (Figure 5), mais diffèrent profondément par la planification, les infrastructures et les capacités de surveillance des maladies.

En France, l'urbanisation est planifiée et encadrée par des politiques publiques solides et un réseau sanitaire performant (INSEE, 2023 ; Santé publique France, 2022).

Au Togo, elle est rapide et partiellement informelle, marquée par l'expansion non planifiée des quartiers périphériques et des infrastructures limitées (World Bank, 2021 ; INSEED, 2022).

Cette comparaison entre Strasbourg et Lomé permet d'analyser comment les contextes socio-écologiques contrastés influencent :

- la dynamique des hôtes synanthropiques (rats) ;
- la circulation des agents pathogènes dans les environnements urbains et péri-urbains.

Elle constitue ainsi un cadre méthodologique pertinent pour comprendre comment des contextes écologiques et socio-environnementaux distincts façonnent les interactions hôte–pathogène–environnement.

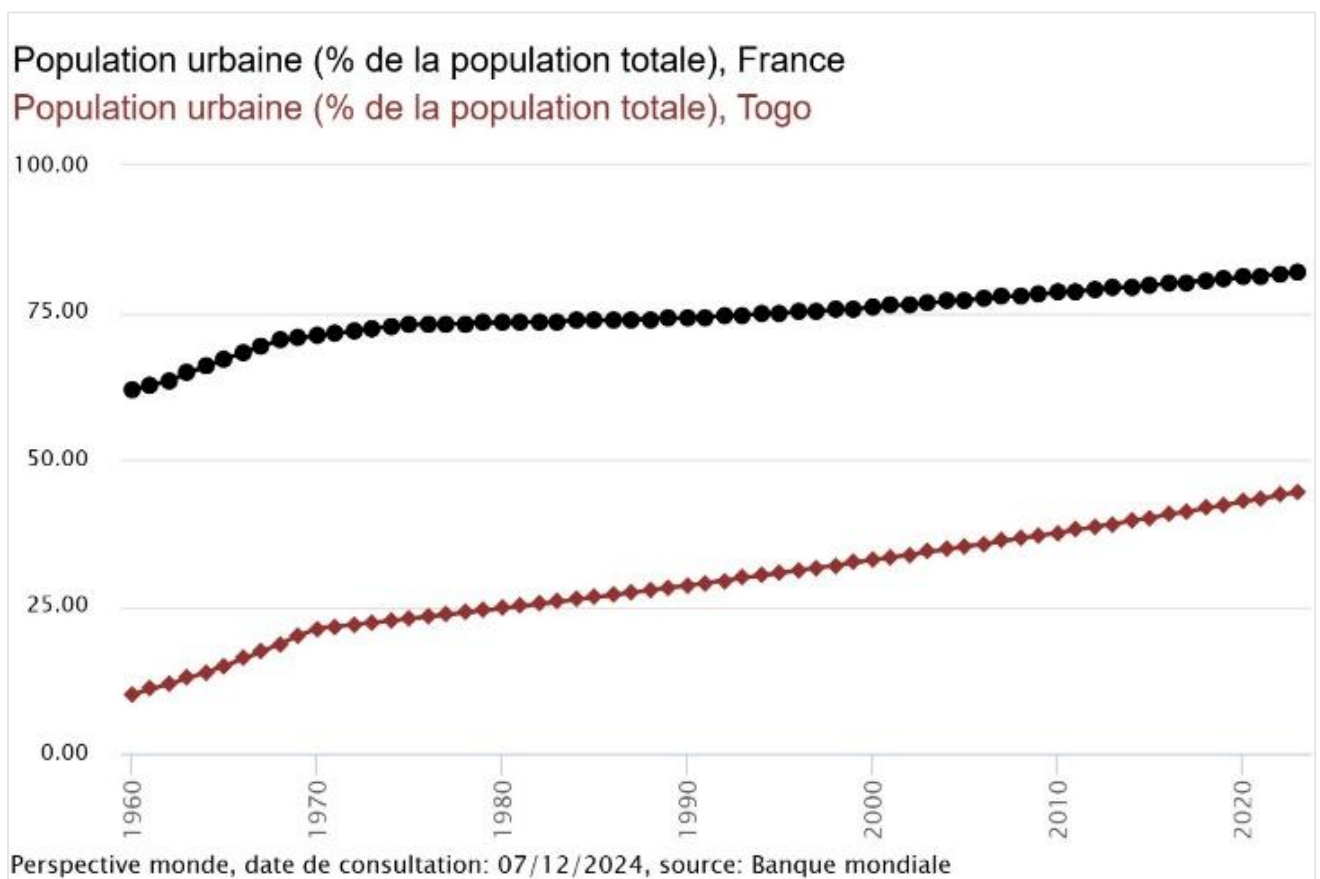


Figure 5: Évolution de la croissance urbaine au Togo et en France

## **5.2 Méthodologie**

### **Stratégie d'échantillonnage et dispositifs de piégeage des rats (2022-2024)**

L'échantillonnage des rongeurs a été conduit entre janvier 2022 et octobre 2024, selon un protocole standardisé et stratifié par type d'habitat, distinguant les zones urbaines fortement anthropisées des zones périurbaines.

### **Campagnes de piégeage à Strasbourg (France)**

Deux campagnes successives ont été réalisées à Strasbourg afin d'évaluer la distribution spatiale et la dynamique des populations de rats dans différents contextes urbains et périurbains.

#### **Première campagne (janvier – mai 2022)**

La première campagne s'est déroulée du 24 janvier au 6 mai 2022. Trois sites représentatifs ont été échantillonnés :

- Quartier Semencerie / Gare : du 24 janvier au 6 mai 2022
- Quartier Elsau : du 7 février au 6 mai 2022
- Quartier de la Wantzenau (site périurbain) : du 13 février au 6 mai 2022

Cette première phase a permis la capture de 70 individus de rats.

#### **Deuxième campagne (février – avril 2023)**

La seconde campagne, menée du 28 février au 28 avril 2023, visait à étendre la couverture spatiale et à assurer un suivi longitudinal sur certains sites. Cinq sites ont été prospectés :

- Quartier Cronembourg
  - Campus CNRS : du 28 février au 7 mars 2023
  - Parc de la Bergerie : du 28 février au 7 mars 2023
- Quartier Semencerie / Gare : du 28 février au 28 avril 2023
- Quartier Danube / Neudorf : du 13 au 21 mars 2023
- Un campement / Gare : du 13 au 28 avril 2023

Cette campagne a conduit à la capture de 80 rats.

Des interruptions ponctuelles du piégeage ont toutefois été nécessaires sur certains sites, en raison d'actes de vandalisme (vols ou dégradations de pièges) ou d'absence prolongée de capture (site du Campus CNRS).

Le site Semencerie a été rééchantillonné afin d'obtenir un effectif suffisant pour l'analyse temporelle, tandis que le site Campement a été ajouté à la suite d'observations de terrain et de signalements des éboueurs indiquant une forte activité de rats dans cette zone.

Les sites Elsau et Wantzenau n'ont pas été rééchantillonnés afin d'élargir la couverture spatiale et d'explorer de nouveaux quartiers.

Au total, 150 rats ont été capturés sur sept sites, répartis dans cinq quartiers représentatifs de la diversité des habitats urbains de l'agglomération strasbourgeoise.

### **Campagnes de piégeage au Togo**

Deux campagnes ont également été conduites au Togo entre septembre 2023 et octobre 2024, selon un protocole adapté au contexte local.

#### **Première campagne (septembre – novembre 2023)**

La première campagne s'est déroulée du 11 septembre au 11 novembre 2023 sur quatre sites répartis dans différentes régions :

- Tchamba : du 11 au 23 septembre 2023
- Farendè : du 4 au 17 octobre 2023
- Nanergou : du 23 octobre au 1<sup>er</sup> novembre 2023
- Avéta : du 3 au 11 novembre 2023

Aucune capture n'a été enregistrée durant cette période. Les tentatives de capture s'étaient concentrées exclusivement dans les poulaillers, à l'aide d'un piège artisanal localement conçu (Photo 2A), qui s'est révélé non adapté aux comportements des rats. Cette inefficacité méthodologique explique l'absence de capture au cours de cette première phase.

#### **Deuxième campagne (août – octobre 2024)**

La seconde campagne s'est déroulée du 2 août au 25 octobre 2024, en se concentrant sur la ville de Lomé et sa périphérie. Cinq sites ont été échantillonnés :

- Quartier Totsi : du 2 août au 25 octobre 2024
- Quartier Doumassesse : du 2 août au 25 octobre 2024
- Quartier Kégué-Kélégougan : du 2 août au 25 octobre 2024
- Quartier Klobatème (périurbain) : du 18 août au 25 octobre 2024
- Quartier Avéta (périurbain) : du 2 au 25 octobre 2024

Cette seconde campagne, réalisée à l'aide de pièges Hénon® non létaux, a permis la capture de 36 individus.

Au total, sept sites (trois urbains et quatre périurbains) ont été prospectés au Togo.

### **Effort de piégeage et protocoles opérationnels**

L'effort global de piégeage s'élève à 12 429 nuits-pièges, correspondant au nombre de pièges installés multiplié par le nombre de nuits de piégeage effectif :

- 8 944 nuits-pièges à Strasbourg,
- 3 485 nuits-pièges à Lomé.

Les captures ont été effectuées à l'aide de pièges non létaux Hénon® (dimensions 60 × 23 × 23 cm ; Photo 2B).

Les pièges étaient disposés le long de transects espacés d'environ 100 m, suivant les indices d'activité observés (traces, terriers, zones de dépôts d'ordures, etc.), ou placés à proximité de kiosques à poubelles et dans les habitations (Photo 3).

Les appâts variaient selon les contextes locaux :

- à Strasbourg : croquettes pour chien et pâte d'arachide ;
- à Lomé : pâte d'arachide et pain.

Les modalités de suivi étaient adaptées au contexte :

- à Strasbourg, les pièges étaient activés le lundi (entre 10h et 11h) et désactivés le vendredi matin (entre 8h et 9h). Ils étaient vérifiés chaque matin à 8h, pendant quatre nuits consécutives ;
- à Lomé, les pièges étaient activés le lundi (à 18h dans les poulaillers et à 6h dans les autres habitats) et désactivés le samedi à 18h. Les vérifications étaient effectuées trois fois par jour (matin, midi et soir) pendant cinq nuits consécutives.

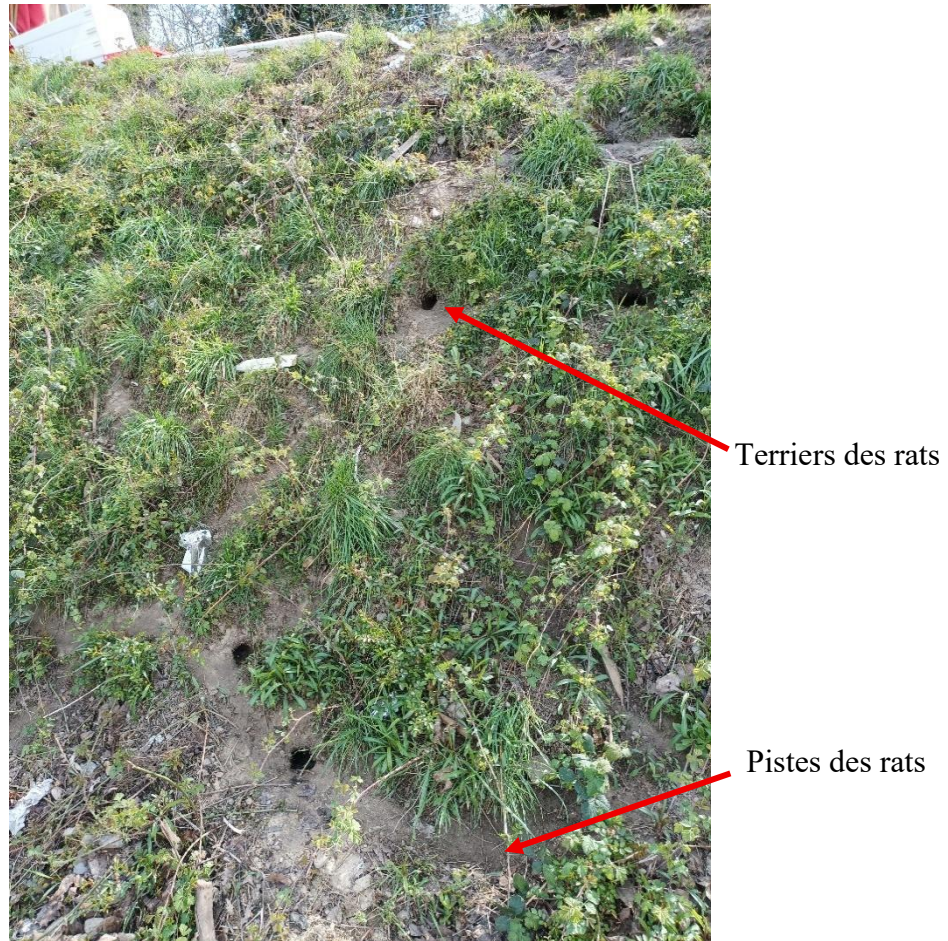
Chaque capture entraînait le remplacement immédiat du piège par un dispositif identique, garantissant un effort de piégeage constant.

Les individus capturés étaient ensuite transportés vivants au laboratoire pour les mesures biométriques et les prélèvements biologiques.



*Photo 2: Piège artisanal localement conçu (A), Piège Hénon (B)*

(Photos personnelles)



*Photo 3: habitat type de rat*

(Photo personnelle)

### **Justification du choix des pièges non létaux Hénon®**

Le choix des pièges Hénon® pour la capture des rats urbains repose sur des considérations à la fois éthiques, méthodologiques et pratiques.

Les pièges Hénon® sont des dispositifs non létaux permettant la capture d'individus vivants tout en limitant les risques de blessures. Ce type de piège est particulièrement adapté aux études nécessitant l'identification des individus, la réalisation de mesures morphométriques, des prélèvements biologiques (sang, ectoparasites, tissus), ainsi que la libération ou l'euthanasie contrôlée des animaux conformément aux protocoles expérimentaux. Leur utilisation s'inscrit dans le respect des principes éthiques du bien-être animal et des recommandations internationales encadrant l'expérimentation sur les vertébrés, notamment le principe des 3R (Réduire, Raffiner, Remplacer).

Par ailleurs, les pièges Hénon® sont spécifiquement conçus pour la capture de rongeurs de taille moyenne à grande, tels que *Rattus norvegicus* et *Rattus rattus*. Leurs dimensions (60 × 23 × 23 cm) permettent une capture efficace des individus adultes tout en réduisant le risque de captures

accidentelles d'espèces non ciblées. Ce dispositif s'inscrit dans la catégorie des pièges-cages couramment utilisés en écologie et en épidémiologie des rongeurs, à l'instar d'autres pièges vivants tels que les pièges Sherman ou Ugglan, tout en présentant une robustesse et une adaptation adaptées aux conditions du milieu urbain.

### **Manipulation, identification et mesures morphologiques**

Les rongeurs capturés ont été manipulés conformément aux normes éthiques en vigueur dans chaque pays.

En France, l'étude a été conduite avec l'autorisation du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (accord APAFIS #34416-2021112911335464 v7), sous le contrôle des comités institutionnels d'éthique compétents.

Au Togo, les activités ont été menées conformément aux réglementations nationales encadrant la capture, la manipulation et l'euthanasie des animaux de laboratoire.

Chaque individu a été anesthésié à l'isoflurane (Photo 4A–C), puis identifié morphologiquement au niveau spécifique à l'aide de clés taxonomiques standard (*Monadjem et al.*, 2015) et, pour les individus européens, d'après la méthode de Mohd-Qawiem *et al.* (2022). L'euthanasie a été pratiquée par dislocation cervicale, méthode recommandée pour limiter la douleur et le stress conformément à la directive européenne 2010/63/UE.

Pour chaque spécimen, les mesures morphométriques suivantes ont été relevées :

- masse corporelle (balance de précision  $\pm 0,01$  g) ;
- longueur tête–corps (museau–anus, en cm) ;
- longueur de la queue (en cm).

Ces mesures ont permis d'évaluer la variabilité morphologique intra- et inter-populationnelle, utilisée en appui à l'identification spécifique et à la caractérisation des populations locales de *Rattus spp.*

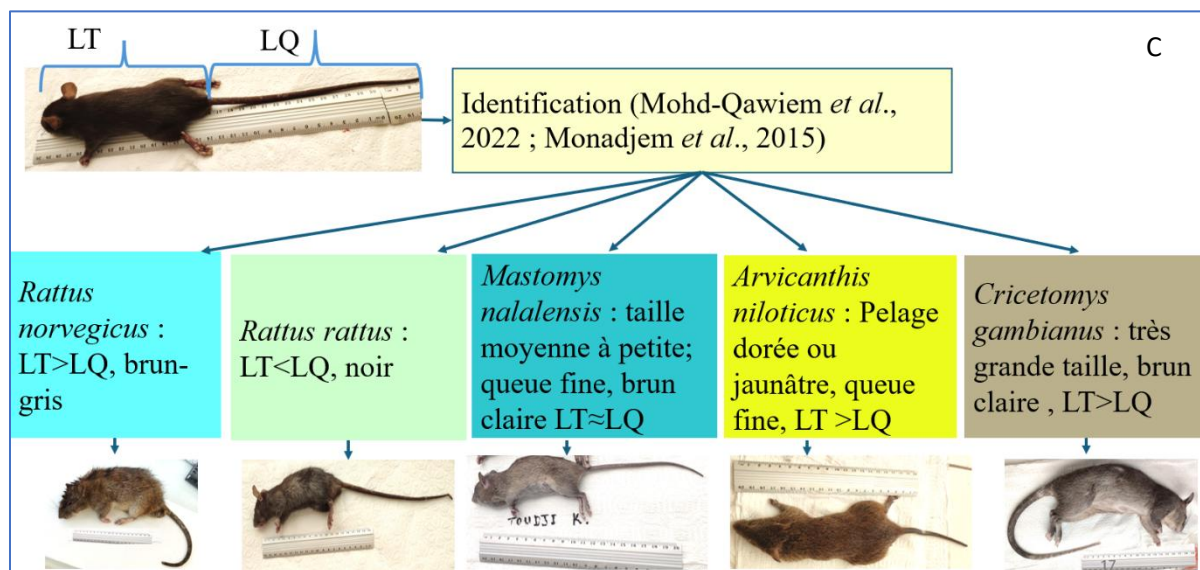


Photo 4: Anesthésie des rats (A), identification morphométrique (B & C)

(Photos personnelles)

### Collecte et conservation des échantillons biologiques

Après les mesures morphologiques, des prélèvements biologiques ont été réalisés sur chaque individu capturé, dans des conditions stériles afin d'éviter toute contamination croisée. Ces prélèvements avaient pour objectif de permettre l'identification d'agents pathogènes d'origine virale, bactérienne et parasitaire.

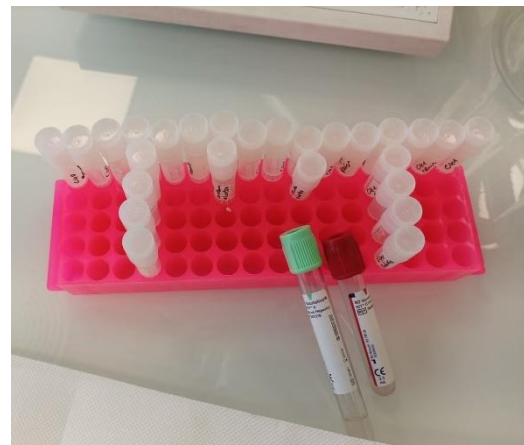
Quatre types d'échantillons ont été collectés :

- 1- Écouvillons oro-pharyngé et rectal, placés dans un milieu de transport viral (VTM) pour la recherche d'agents bactériens et viraux ;
- 2- Sang, prélevé par ponction cardiaque puis centrifugé afin de séparer le plasma et le sérum, destinés respectivement aux analyses sérologiques, moléculaires (PCR) et à la recherche de *Toxoplasma spp.* ;
- 3- Organes internes — cœur, poumons, foie, rate, reins, vessie et cerveau (Photo 5) — prélevés pour les analyses virologiques, bactériologiques et parasitologiques ;
- 4- Échantillons intestinaux et écouvillons rectaux, utilisés pour la détection d'agents pathogènes entériques.

Les échantillons ont été conservés immédiatement après prélèvement à des températures adaptées à leur nature :

- $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour un stockage temporaire ou des analyses rapides ;
- $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$  pour la conservation à long terme et les analyses moléculaires.

L'ensemble des échantillons a ensuite été transféré sous chaîne du froid vers les laboratoires partenaires — CHU de Reims, Institut Pasteur de Paris, L2A et WESTLAB24 — pour la réalisation des analyses spécifiques prévues dans le cadre du projet.



*Photo 5: Prélèvement et conservation des échantillons biologiques*

(Photos personnelles)

### **Détection des agents pathogènes**

Les 186 rongeurs capturés ont fait l'objet d'analyses microbiologiques et parasitologiques destinées à identifier la présence d'agents pathogènes zoonotiques. Plusieurs approches complémentaires ont été utilisées afin de caractériser la diversité des agents infectieux détectables, en combinant des méthodes moléculaires, culturelles et microscopiques.

### **Analyses virologiques**

Les recherches virologiques ont porté sur la détection du virus de l'hépatite E (HEV), des coronavirus, et du Seoul virus (SEOV), un hantavirus transmis par les rats.

Les détections ont été réalisées par RT-PCR ciblant des gènes de référence spécifiques, suivies de séquençages partiels des produits d'amplification pour confirmer l'identité des virus et évaluer leur proximité génétique avec des souches de référence.

### **Analyses bactériologiques**

Les analyses bactériologiques ont visé la détection de bactéries zoonotiques telles que *Leptospira spp.*, *Borrelia spp.*, *Salmonella spp.* et d'autres pathogènes potentiels.

La détection a reposé sur des PCR spécifiques et des cultures bactériennes réalisées sur différents milieux : gélose au sang, MacConkey et milieux sélectifs ou d'enrichissement, incubés à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Des examens directs ont complété ces analyses :

- Coloration de Gram sur les écouvillons oro-pharyngés pour l'observation de la flore bactérienne ;
- Coloration au bleu de toluidine sur des frottis spléniques pour la recherche de *Francisella tularensis*.

### **Analyses parasitologiques**

Les analyses parasitologiques ont comporté à la fois des observations externes et internes des animaux.

Les autopsies post-mortem ont permis d'inspecter la surface du corps pour détecter la présence d'ectoparasites (puces, acariens, poux) et d'observer les organes internes à la recherche de lésions macroscopiques évocatrices de parasitoses ou d'infections (splénomégalie, kystes, congestion pulmonaire, etc.).

La recherche de parasites intestinaux a été réalisée par plusieurs méthodes :

- examen coprologique selon la méthode de flottation/sédimentation,
- examen direct du contenu intestinal et des fèces,
- frottis fécaux pour l'observation microscopique des œufs et oocystes.

La détection de protozoaires tels que *Toxoplasma gondii* a été effectuée par tests sérologiques d'agglutination directe sur hématie sensibilisée (ADHS).

Enfin, une technique complémentaire du ruban adhésif périanal (test du ruban Scotch®) a été utilisée pour détecter les œufs de *Syphacia spp.*, *Aspiculuris spp.* et d'autres nématodes intestinaux comme *Enterobius vermicularis*, qui déposent leurs œufs autour de l'anus.

## Analyses mycologiques

Les analyses mycologiques ont été menées afin de détecter d'éventuelles dermatomycoses zoonotiques chez les rongeurs capturés.

Une inspection macroscopique du pelage a d'abord été effectuée, complétée par une observation à la lumière ultraviolette de Wood, permettant de repérer d'éventuelles zones de fluorescence verdâtre caractéristiques de certaines teignes.

Les poils et squames prélevés sur les zones suspectes ont ensuite été clarifiés dans une solution de bleu lactique puis observés au microscope afin de rechercher la présence de dermatophytes kératinophiles, notamment des genres *Microsporium spp.* et *Trichophyton spp.*

L'ensemble de ces analyses a été réalisé en collaboration avec les laboratoires partenaires (Tableau 2, Photo 6).

Tableau 1: Agents pathogènes recherchés et laboratoires partenaires

Agents pathogènes	Organes	Methodes analyses	Laboratoire Partenaire
<i>Toxoplasma gondii</i>	Sérum-Cœur	ADHS	CHU Reims
Coronavirus (SARSCOV-Cov2, HKU24, Pan-coronavirus)	poumon	(RT)-qPCR	Institut Pasteur
SEOV	poumon	(RT)-qPCR	Institut Pasteur
<i>Leptospira spp</i>	Reins	PCR+	Institut Pasteur
Virus de l'hépatite E	Foie - écouvillon rectal	PCR + séquençage	Institut Pasteur
Virus de l'hépatite E	Foie	PCR	WESTLAB24
<i>Streptobacillus moniliformis</i>	foie, rein, rate	qPCR	Institut Pasteur
<i>Borrelia burgdorferi</i>	cœur, oreilles, vessie	qPCR	Institut Pasteur
<i>Rickettsia typhi</i>	Écouvillon oropharyngé	qPCR	Institut Pasteur
<i>Escherichia coli</i>	Selles fraîches	culture	L2A
<i>Listeria spp</i>	Intestin grêle	culture	L2A
<i>Staphylococcus aureus multi-résistant</i>	Rate	culture	L2A
<i>Pasteurella spp</i>	poumon	culture	L2A
<i>Francisella tularensis</i>	Rate	culture	L2A
<i>Salmonella spp</i>	Intestin grêle	culture	L2A
<i>Yersinia spp</i>	Selles fraîches	culture	L2A
<i>Klebsiella spp</i>	Poumon	culture	L2A
<i>Corynebacterium spp</i>	poumon	culture	L2A
<i>Pseudomonas spp</i>	Écouvillon oro-pharyngé	culture	L2A

**Copie**

Monsieur le Dr CAPBER Fabrice  
Clinique Vétérinaire les Quat'pattes  
28, route de Wintzenheim  
68000 COLMAR

CNRS  
23 rue du loess - BP28  
67037 STRASBOURG

**ESPECE :** rat  
**INFO. COMPL. :** S17 - 15/03/22  
**PRELEVEUR :** Dr Capber  
**PRELEVE LE :** 16/03/2022  
**DATE D'ANALYSE :** 17/03/2022  
**RECHERCHE DEMANDEE :** autopsie

**NOMBRE :** 1  
**AGE :**

**QUALITE :** vétérinaire  
**RECU LE :** 16/03/2022  
**N° Dossier DIPLABO :** 0000000

**RESULTATS DE L'ANALYSE N° 22A0541**

**AUTOPSIE**

**Ext. Plan sous-cutané.** Rat, en état médiocre d'engraissement (absence de graisse sous-cutanée et viscérale, poids = 240g). Présence de 7 puces, absence de tiques et acariens.

**Abdomen. Thorax. Encolure.** Spénomégalie. Présence de petites inclusions blanches dans le foie (Capillaria). Petite congestion pulmonaire. RAS sur les autres organes. Estomac rempli.

**EXAMEN PARASITOLOGIQUE**

Par enrichissement (coeff 1) :

Parasite identifié (0 = absence)	Nbre / g	Interprétation (qté)
(Eufs de Capillaria	1 350	Très grande
(Eufs de strongles digestifs	600	Grande
(Eufs d'Ascaris	1 500	Très grande
(Eufs de Trichosomoides crassicauda	100	Faible

Examen direct sur le foie : œufs de Capillaria.

Examen à la lumière de Wood : absence de fluorescence.

Examen de poils dans du bleu lactique : absence de champignons, dont la teigne.

**EXAMEN BACTERIOLOGIQUE**

▪ Bactérioscopie

Bleu de Toluidine sur la rate : négatif (absence de Francisella tularensis).

Gram sur écouvillon oro-pharyngé : bacilles Gram négatif.

▪ Cultures :

Écouvillon oro-pharyngé : isolement de Gemella haemolysans, Moraxella et Alloiococcus otitis.

Poumon : isolement de Mannheimia haemolytica ; recherche de Klebsiella spp négative.

Recherche de Yersinia sur les selles : isolement de Yersinia enterocolitica.

Recherche de Salmonella spp. après pré-enrichissement et enrichissement, (selon méthode interne issue de la norme NF U 47-102) sur 5 g d'intestins : négative.

Recherche de Listeria sur les selles : négative après 2 passages et enrichissement au froid.

Absence de Klebsiella spp, de Pseudomonas spp et de Streptobacillus moniliformis.

La Responsable Technique Santé Animale



Eliette GRETILLAT

Photo 6: Exemples d'analyses conduites sur les rats par les partenaires.

## Variables environnementales, climatiques et démographiques

Afin d'explorer les facteurs écologiques influençant la présence et la distribution des rongeurs et de leurs agents pathogènes, plusieurs variables environnementales, climatiques et démographiques ont été intégrées dans l'analyse spatiale.

Les coordonnées géographiques (GPS) de chaque point de capture ont été enregistrées sur le terrain, puis importées dans un Système d'Information Géographique (SIG) à l'aide du logiciel QGIS. Autour de chaque site de capture, un rayon de 110 mètres a été défini (Photo 7), correspondant approximativement au domaine vital moyen de *Rattus rattus* (Blasdell *et al.*, 2022).

Les variables environnementales considérées incluaient la présence de points d'eau, la proximité de zones de déchets ou dépotoirs, la densité de végétation estimée à partir de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI), ainsi que l'occupation du sol (zones bâties, espaces verts, plans d'eau).

Une classification supervisée de l'occupation du sol a été réalisée à partir d'images satellites Landsat 8 OLI (résolution 30 m), traitées à l'aide du plugin SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) du logiciel QGIS (version 3.8.0) (Photo 8).

Les données climatiques (températures et précipitations journalières) pour la période janvier 2022 – octobre 2024 ont été obtenues auprès des services météorologiques nationaux de Lomé et de Strasbourg. Les données démographiques (densité de population, répartition spatiale) ont été extraites des bases officielles d'open data des deux municipalités.



Photo 7: Domaine vitale défini pour enregistrer les variables dominantes de l'habitat des rats

(Site de Totsi, Lomé ; photo personnelle)

## SCP : Outil de correction d'image utilisé avant le calcul de NDVI

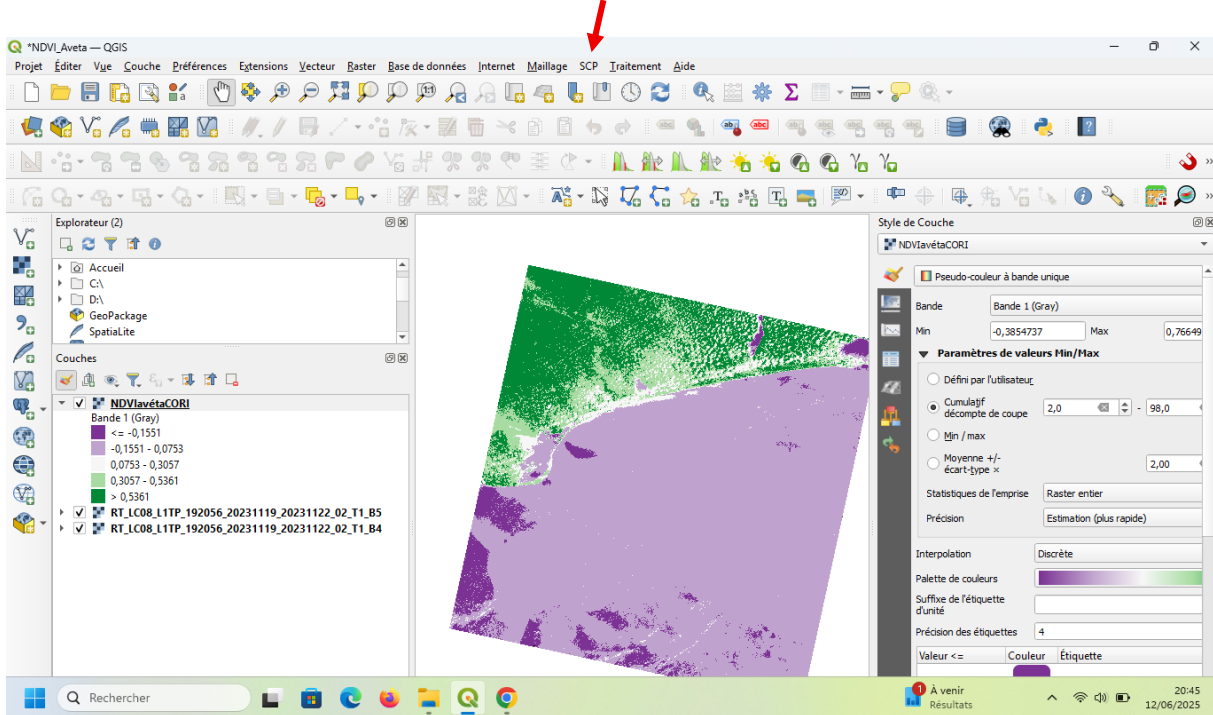


Photo 8: Calcul de l'indice de végétation du site prospecté sous le logiciel QGIS

(Photo personnelle)

### Échantillonnage des volailles, prélèvements et préparation des lames

Deux campagnes d'échantillonnage des volailles ont été réalisées aux mêmes périodes que les captures de rats au Togo, soit de septembre à novembre 2023, puis d'août à octobre 2024.

Au total, 42 élevages ont été visités (Savanes :  $n=12$  ; Kara :  $n=10$  ; Centrale :  $n=8$  ; Maritime :  $n=12$ ), représentant 127 poulets locaux échantillonnés.

Une approche stratifiée a été appliquée, chaque strate correspondant à un poulailler familial ou semi-commercial (Photo 6A–C). La sélection des sites a été réalisée en collaboration avec les auxiliaires de santé communautaire (ASC) et les auxiliaires vétérinaires d'élevage (AVE), en tenant compte de la taille du cheptel et du mode d'élevage (divagation ou semi-divagation).

Les villages retenus étaient espacés d'au moins 2 km afin de refléter l'hétérogénéité spatiale des élevages.

Les visites ont été effectuées tôt le matin (vers 6 h), avant la sortie des volailles. Les éleveurs ont été informés des objectifs de l'étude et leur consentement éclairé a été obtenu la veille. Un questionnaire standardisé (voir Annexe 6) a permis de recueillir des données sur les pratiques d'élevage, la gestion sanitaire et les signes cliniques observés au sein des poulaillers.

Chaque volaille a été sexée, pesée ( $\pm 1$  g) et mesurée (longueur des tarses, crête et barbillons) afin d'estimer son âge.

Un identifiant unique a été attribué à chaque individu (ex. ALM5G1 = Alibi, Maison 5, Poule G1), et les coordonnées GPS de chaque élevage ont été enregistrées à l'aide d'un récepteur Garmin ETREX 10.

La recherche d'agents pathogènes circulants chez les poulets locaux a été conduite par analyses sanguines, le sang aviaire pouvant contenir divers agents infectieux : virus, bactéries, rickettsies, protozoaires, microfilaires et champignons (*Van Wettere & Hauck, 2020*).

Pour chaque volaille, le sang a été prélevé par piqûre de la veine alaire à l'aide d'une seringue de 2 mL après désinfection du site de ponction. Le sang a été recueilli dans des tubes capillaires héparinés. Une goutte d'environ 50 µL a été déposée sur une lame de microscope, étalée à l'aide d'une lamelle, puis séchée à l'ombre pendant environ deux minutes.

Les lames ont ensuite été colorées au kit RAL 555 (variante rapide de May-Grünwald Giemsa) pendant deux minutes, séchées trois minutes, puis stockées dans des boîtes hermétiques jusqu'à lecture. Deux lames ont été préparées par individu.

Des précautions strictes ont été appliquées : (i) une aiguille neuve pour chaque volaille, (ii) désinfection systématique du site de ponction, (iii) application d'un coton pour stopper l'écoulement avant relâchement de l'animal.

Enfin, un recensement clinique a été réalisé dans chaque élevage pour noter les signes compatibles avec différentes affections aviaires.

### **Analyse microscopique**

Les frottis sanguins ont été examinés à l'aide d'un microscope optique OMAX, équipé d'objectifs allant de 4× à 100× (immersion) et d'une caméra numérique permettant la capture d'images pour l'archivage et l'analyse (Photo 9).

L'identification des agents pathogènes observés sur les lames s'est appuyée sur des clés taxonomiques spécialisées et des ouvrages de référence, notamment ceux de *Valkiūnas & Iezhova (2018)*, *Binkienė et al. (2021)* et *Svobodová et al. (2023)*. Ces références ont permis d'orienter la reconnaissance des différentes formes parasitaires et microbiennes rencontrées.

Les observations ont permis de recenser plusieurs morphotypes compatibles avec différents groupes d'agents pathogènes, tels que des protozoaires hémoparasites, des nématodes filaires, ainsi que des bactéries et champignons présents dans le sang périphérique.

Cependant, compte tenu des limites de la microscopie optique, notamment la variabilité morphologique et les possibilités de confusion entre espèces proches, ces identifications doivent être considérées comme exploratoires. Elles nécessitent une confirmation moléculaire ultérieure, par PCR et séquençage, afin d'établir une identification spécifique fiable.



Photo 9: Schéma méthodologique d'échantillonnage et d'analyse des volailles

(photo personnelle)

## Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé sous le logiciel R (version 4.5.1) et RStudio (RStudio Team, 2025) (R Core Team, 2025).

## Analyses sur les rongeurs

La première phase d'analyse visait à décrire la structure des communautés de rongeurs, leur dynamique démographique, et à identifier les facteurs environnementaux et anthropiques influençant leur abondance et leur distribution, ainsi que la diversité des ectoparasites associés.

- Diversité et abondance : les indices de Shannon et de Simpson ont été calculés, ainsi que les estimateurs de richesse (Jackknife 1 et Bootstrap). Des courbes de raréfaction ont permis d'évaluer l'exhaustivité de l'échantillonnage.
- Facteurs d'influence : des modèles linéaires généralisés (GLM) et mixtes (GLMM) ont été utilisés pour tester l'effet de variables environnementales et anthropiques (type d'habitat, densité humaine, précipitations, présence de points d'eau, etc.) sur l'abondance relative des rongeurs.
- Analyses multivariées : des ordinations par NMDS (*Non-Metric Multidimensional Scaling*), CCA (*Canonical Correspondence Analysis*) et PERMANOVA ont permis d'explorer les relations entre les communautés et leur environnement.
- Comparaisons intergroupes : des analyses de variance (ANOVA) ou des tests non paramétriques de Kruskal–Wallis ont été appliqués selon la distribution des données.

Analyses sur les agents pathogènes

La seconde phase visait à explorer la prévalence, la diversité, la structure des communautés pathogènes, ainsi que leur co-occurrence et leur dynamique spatio-temporelle.

- Prévalence et diversité : le nombre de cas d'infection par agent pathogène a été comptabilisé et les indices de diversité de Shannon ont été calculés.
- Facteurs hôtes et environnementaux : des GLM et des tests de comparaison par paires (emmeans), suivis de tests post-hoc Tukey HSD, ont été utilisés pour évaluer les effets des variables hôtes (sexe, âge, morphométrie) et environnementales (site, saison).
- Structure des communautés pathogènes : des analyses multivariées (MCA, CCA, PERMANOVA, SIMPER) ont permis d'étudier les relations entre la composition des pathogènes, les hôtes et leur environnement.
- Co-infections et co-circulations : les co-occurrences ont été analysées par modèles de régression logistique multivariée, avec calcul d'indices de diversité (Shannon), tests de corrélation (cor.test) et de Kruskal–Wallis ( $\chi^2$ ).
- Dynamique temporelle : des courbes épidémiques ont été construites pour certains agents pathogènes afin d'évaluer leur distribution saisonnière et spatiale.

L'ensemble des tests statistiques a été interprété au seuil de significativité  $p < 0,05$ .

## **Analyses sur les volailles**

L'analyse statistique des données issues des volailles a été réalisée en trois phases complémentaires.

La première phase visait à explorer les prévalences et co-occurrences des agents pathogènes entre les rats et les volailles. Cette étape avait pour objectif de comparer la diversité et la circulation des pathogènes entre les deux hôtes, selon les mêmes approches décrites précédemment pour les rongeurs (cf. section *Analyses sur les agents pathogènes*).

La seconde phase portait spécifiquement sur les volailles d'élevage. Elle visait à évaluer la prévalence, la diversité spécifique, la structure des communautés pathogènes et leurs co-occurrences au sein des exploitations. Des analyses descriptives, des indices de diversité (Shannon), des comparaisons intergroupes (tests *emmeans* suivis du Tukey HSD) et des analyses multivariées (PERMANOVA, MCA, CCA, SIMPER) ont été utilisées, suivant la même approche que pour les rongeurs.

La troisième phase visait à explorer les facteurs d'exposition des volailles et les risques zoonotiques potentiels liés aux interactions interspécifiques. L'analyse exploratoire a été conduite en plusieurs étapes :

1. une analyse en composantes principales (ACP) sur les variables quantitatives pour réduire la dimensionnalité et identifier les axes majeurs de variation ;
2. une classification ascendante hiérarchique (CAH) basée sur la distance euclidienne et la méthode de Ward pour établir une typologie des élevages ;
3. une analyse des correspondances multiples (ACM) pour intégrer les variables qualitatives (réalisée séparément de l'ACP) ;
4. des tests complémentaires comprenant :
  - PERMANOVA, adaptée aux distributions non normales, pour tester les différences de composition entre groupes ;
  - SIMPER pour identifier les variables contribuant le plus à la diversité observée ;
  - le calcul de l'indice de Shannon appliqué aux pratiques d'élevage, suivi d'une régression linéaire multiple ;
  - des comparaisons post-hoc par test *emmeans* et Tukey HSD à l'aide du package MulticompView.

L'ensemble des analyses a été réalisé à l'aide des packages dplyr, ggplot2, vegan, FactoMineR ; factoextra ; FSA ; pheatmap ; reshape2 ; emmeans ; multcomp ; multcompView ; patchwork et cluster sous R, avec un seuil de significativité fixé à 5 % ( $p < 0,05$ ).

Le tableau 2, résume les analyses statistiques conduites en fonction des objectifs spécifiques

Tableau 2: Analyses statistiques

Types d'analyses	But/objectif	Test
Prévalence et charge infectieuse	Décrire les infections	Moyenne, prévalence (%)
Comparaisons des groupes	Comparer la prévalence entre sexe, site, âge, habitat, ville, saison et année.	Pearson chisquare Test
Effet des prédicteurs	Déterminer les facteurs qui explique les variations de la prévalence et les charges infectieuses observées par espèces sites etc	Régression linéaire multiple + emmeans & post-hoc test de Tukey HSD
Co-infection	Corrélation entre pathogène	GLM; kruskal.test; cor.test
Patrons ou Structure de la communauté des pathogènes	Patrons multivariés	AMC + PERMANOVA + SIMPER
Mesure de la richesse et de la diversité spécifique des agents pathogènes zoonotiques	Comparer la richesse et la diversité des agents pathogènes zoonotiques entre espèces hôtes, sites, sexe, âge et saison	Richesse et Shannon Index + emmeans + post-hoc test de Tukey HSD
Abondance & distribution	Quantifier et comparer les incidences des pathogènes par site, sexe, âge, espèces	Occurrence + heatmap avec le package Vegan & dplyr
Association des variables environnementales, sociales et climatiques	Identifier les facteurs socio-environnementaux et climatiques influençant la présence/absence des pathogènes zoonotiques.	Analyse Canonique de Correspondance (CCA) & PERMANOVA

## **Chapitre 6: Ecologie et dynamique des populations de rats dans les contextes urbains de Lomé (Togo) et de l'Eurométropole de Strasbourg (France)**

### **6.1 Introduction**

L'urbanisation constitue aujourd'hui l'un des principaux moteurs de transformation écologique à l'échelle mondiale, modifiant profondément les paysages naturels et entraînant une perte significative de biodiversité en milieu urbain (Grimm *et al.*, 2008 ; Seto *et al.*, 2012 ; Aronson *et al.*, 2014). Si certaines espèces disparaissent, d'autres, dites synurbaines parviennent à s'adapter aux niches écologiques créées par les activités humaines (Bateman & Fleming, 2012 ; Lowry *et al.*, 2013).

Parmi ces espèces, les rongeurs commensaux, notamment *Rattus norvegicus* et *Rattus rattus*, se distinguent par leur plasticité écologique, leur forte capacité de reproduction et leur proximité étroite avec l'humain. Ces caractéristiques leur permettent d'atteindre des densités élevées dans de nombreuses villes à travers le monde (Banks & Hughes, 2012 ; Himsforth *et al.*, 2014). Leur prolifération soulève néanmoins d'importants enjeux sanitaires, puisqu'ils constituent des réservoirs et des vecteurs de nombreux agents pathogènes zoonotiques (Meerburg *et al.*, 2009 ; Morand, 2015). Ces risques sont amplifiés dans les grandes métropoles et les villes tropicales, où la croissance urbaine rapide, la faiblesse des infrastructures et les conditions climatiques favorables soutiennent à la fois la survie des rongeurs et la circulation des pathogènes (Costa *et al.*, 2014 ; Cummings *et al.*, 2021).

Cependant, la recherche sur les rongeurs urbains demeure inégalement répartie à l'échelle mondiale. Dans plusieurs villes tropicales, comme Lomé (Togo), les données scientifiques relatives aux populations de rats urbains restent limitées. À l'inverse, certaines métropoles européennes telles que l'Eurométropole de Strasbourg, malgré une connaissance plus avancée de leurs populations de rats, cherchent encore à comprendre les déterminants écologiques et sociaux de leur dynamique afin d'optimiser les stratégies de lutte intégrée mises en œuvre depuis plusieurs décennies.

Ce chapitre vise ainsi à analyser l'écologie urbaine des rats et de leurs ectoparasites dans deux contextes urbains contrastés : Lomé (zone tropicale) et Strasbourg (zone tempérée). Cette approche comparative permettra de mieux comprendre la plasticité écologique des populations de rats et d'éclairer la gestion durable de leurs populations dans une perspective de santé publique urbaine. Les travaux réalisés ont fait objet de deux articles dont l'un (Article 1) déjà soumis au journal *Urban Ecology* et le second (article 2) en cours de soumission au journal *Urban Ecology*. Les textes sont présentés ci-dessous.

## 6.2 Article 1

Titre : **Ecology and population dynamics of urban rats in Strasbourg (France)**

**TOUDJI Komlan<sup>1,2,3</sup>, MAKUYA Lindelani<sup>1</sup>, ASSOU Delagnon<sup>3</sup>, BERAUD Mathieu<sup>1</sup>, CAPBER Fabrice<sup>4</sup>, GRETILLAT Eliette<sup>5</sup>, PHILIPPOT Véronique<sup>2,6</sup>, KETOH Guillaume Koffivi K.<sup>3</sup>, HABOLD Caroline<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> UMR 7178 IPHC (University of Strasbourg, CNRS), Strasbourg, France

<sup>2</sup> LTSER France, Zone Atelier Environnementale Urbaine, France

<sup>3</sup> Laboratory of Ecology and Ecotoxicology, Department of Zoology and Animal Biology, Faculty of Sciences, University of Lomé, 01 BP 1515, Lomé, Togo

<sup>4</sup> DVM, Strasbourg, France

<sup>5</sup> Laboratoire Alsacien d'Analyse (L2A), Colmar, France

<sup>6</sup> UMR 7069 LinCS (CNRS, University of Strasbourg), MISHA, Strasbourg, France

Correspondence to: [caroline.habold@iphc.cnrs.fr](mailto:caroline.habold@iphc.cnrs.fr)

### **Abstract:**

Urban rats continue to strengthen their growing presence in major European cities. In Strasbourg, their numbers have surged since the Covid-19 lockdown. Over two years, we studied rat proliferation in urban and peri-urban areas through seasonal trapping and habitat surveys, analyzing how season, temperature, rainfall, and habitat features influence rat reproduction and abundance. A total of 150 rats were captured. The results indicate that relative rat abundance increased with the degree of urbanization. Notably, only one species of rat (*R. norvegicus*) appeared to thrive in urban and peri-urban ecosystems of this city. *R. norvegicus* was strongly associated with bushes with dumps and open defecation sites, waste or garbage kiosks and dumping grounds, where it was captured in higher numbers. Reproductive activity and abundance of this rodent were positively correlated with human population density, habitat characteristics, and season, but negatively correlated with increased temperature and rainfall. Our findings reveal that brown rats are unevenly distributed in urban and peri-urban ecosystems, with habitat characteristics and environmental sanitation emerging as key factors associated with infestation levels. These results highlight the need for integrated urban planning and improved waste management to effectively control rat populations and reduce the associated public health risks.

Key words: Rats' invasion, population dynamics, urban ecology, Strasbourg.

### **INTRODUCTION**

Rats have taken advantage of environmental changes driven by human activities such as agriculture, transportation, and urbanization to spread globally (Denys, 2022). Among them,

the brown rat (*Rattus norvegicus*) and the black rat (*Rattus rattus*) are the most prominent species, having successfully established themselves in urban ecosystems worldwide (Himsworth *et al.*, 2014). Therefore, the increasing presence of rats reported in major European cities nowadays (e.g., Paris: Thierry, 2018; Lyon: Laure, 2021; Madrid: Tamayo-Uria *et al.*, 2013; Lisbon: Ana da & Maria da, 2023; Strasbourg: Philippot *et al.*, 2023) reflects the remarkable adaptability of these two species of rat to urban environments and climatic conditions. Within these urban settings, rats typically inhabit areas near buildings and feed on human leftovers and waste contributing to their overabundance (Cavia *et al.*, 2009). But, the overabundance of rats triggers major challenges, including nuisance issues, public health risks from zoonotic diseases like leptospirosis and yersiniosis, and environmental damage such as soil degradation (Bonney *et al.*, 2008; Glaston *et al.*, 2023; Tamayo-Uria *et al.*, 2013). Understanding the drivers of rat proliferation and distribution in urban areas is therefore essential.

In urban environments, rats are commonly found in areas with high human population density, such as residential areas, commercial zones, and public parks (Desvars-Larrive *et al.*, 2018). They tend to avoid open spaces and instead prefer areas with dense vegetation, such as overgrown shrubs and bushes (Parson *et al.*, 2017). Numerous studies have demonstrated a strong correlation between rat infestations and socioeconomically and environmentally disadvantaged areas (e.g., informal settlements) characterized by overcrowding, substandard housing, neglected green spaces, vacant buildings, uncollected waste, and vandalism (Langton *et al.*, 2001; Traweger *et al.*, 2006; De Masi *et al.*, 2010). These findings suggest that the distribution of urban rat colonies is not random but rather structured by specific environmental and social factors that render some areas more susceptible to infestations than others (Tamayo-Uria *et al.*, 2014).

Rats exhibit adaptive life-history traits, such as high reproductive rates and early sexual maturity, which enable them to successfully colonize and persist in various environments (Aplin *et al.*, 2003; Ringani *et al.*, 2022). As reproduction and maturation are energetically demanding processes, they are closely linked to the availability of food resources (Himsworth *et al.*, 2014). Ringani *et al.* (2022) demonstrated that rats' opportunistic feeding behavior, including consumption of human waste and pet food, may contribute to early sexual maturity and heightened reproductive activity. This could explain why areas with dense human populations and numerous restaurants often experience greater rat colonization.

Seasonal rainfall and temperature variations strongly influence food availability in urban ecosystems, thereby affecting rat reproduction, maturity, and survival. In temperate regions,

populations rise during warmer months due to increased food resources (Davis, 1953; Stenseth *et al.*, 2003; Johnson *et al.*, 2004), while colder seasons reduce reproductive activity and increase mortality (Glass *et al.*, 1988). Heavy rainfall may flood burrows and elevate human–rat contact (Costa *et al.*, 2014; Combs *et al.*, 2018; Scobie *et al.*, 2024). Temperature is a key driver: warmer conditions extend breeding (Aplin *et al.*, 2003), while extremes constrain survival (Feng & Himsforth, 2014).

Ecologically based, integrated rodent management programs have proven effective in urban areas, emphasizing the need to understand rodent–environment interactions and population-regulating processes (Koul & Cuperus, 2007; Tamayo-Uria *et al.*, 2014). In Strasbourg, preventive strategies have been implemented to reduce reliance on lethal methods (Glatron *et al.*, 2023). However, success depends on sound ecological knowledge. This study explores the drivers of rat proliferation in Strasbourg Eurometropole, hypothesizing that (1) higher human density and (2) anthropogenic factors increase rat presence, (3) urban areas harbour more rats than peri-urban zones, (4) climate and habitat influence rat reproduction and abundance, and (5) sites and locations have an impact on rat’s body mass.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Ethics Statement

Wild rats were collected in accordance with procedures approved by the local ethics committee and the French Ministry of Research and Higher Education (approval agreement APAFIS #34416-2021112911335464 v7).

### 2.2 Study area

The study was conducted in Strasbourg Eurometropole (Figure 6), located in northeastern France (48° 35' 15" N and 7° 40' 02" E). The city has 290 000 inhabitants spread over nearly 80 km<sup>2</sup>, with a population density of 3,491 inhabitants per km<sup>2</sup> (Foglia, 2020). The climate is semi-continental temperate, with a mean annual temperature of 18°C (PLUi, 2019). Winters are cold, dry and stormy, while summers are hot with relatively moderate precipitations ([www.bas-rhin.gouv.fr](http://www.bas-rhin.gouv.fr), last accessed on September 23, 2023). The annual rainfall is low, ranging from 600 to 800 mm, with maximum precipitation occurring in May and June and minimum levels from January to April (PLUi, 2019). The city's main watercourses—Ill, Bruche, and Rhine—are linked by canals and streams. Vegetation includes the Rhine forest with over 50 woody species, lianas, and dense undergrowth. Numerous woodlands and urban green spaces, though not alluvial, also provide vital habitats for local flora and fauna (Foglia, 2020).

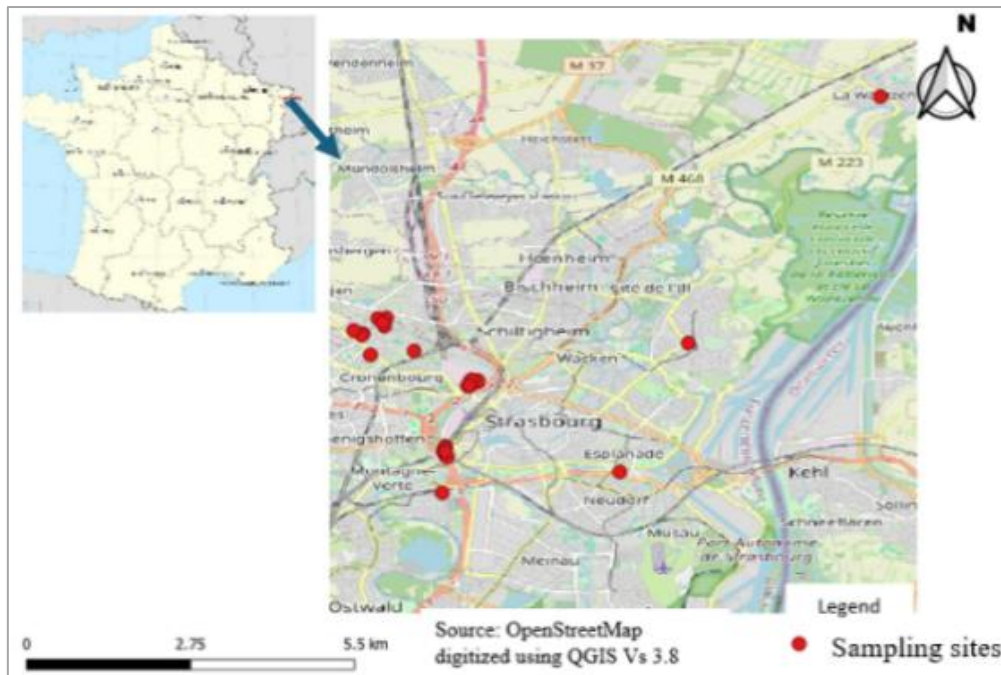


Figure 6 : Sampling sites in Strasbourg Eurometropole

### 2.3 Sampling method

A stratified sampling approach targeted six neighbourhoods differing in urbanization, socio-economic status, and environmental features. Sites included Gare (Campsite and Semencerie), Cronembourg (Bergerie park and Campus CNRS), Neudorf (Danube), Elsau, and La Wantzenau. Some were selected due to rat-related complaints (Philippot *et al.*, 2023). All sites were categorized as either highly urbanized or peri-urban to assess ecological and human factors influencing rat presence.

### 2.4 Rat trapping and environmental data collection

Rat trapping was conducted across multiple selected sites based on visible tracks, accessibility, and potential for trap concealment, following the protocol of Blasdell *et al.* (2022). On each site, GPS coordinates and habitat characteristics were recorded, including proximity to water, gardens, waste areas, vegetation, roads, buildings, green spaces, and ecotones. Trapping took place from January to May 2022 and February to April 2023, using non-lethal Henon traps (90×30×30 cm) baited with peanut butter and dog kibble. Traps were set each night from 6:00 p.m. to 6:00 a.m. on working days and placed in diverse microhabitats (e.g., burrows, trails, near bins, vegetation, fences, and buildings). They were moved after four unsuccessful nights or reset immediately after capture. Captured rats were euthanized under isoflurane anaesthesia and examined for sex, weight ( $\pm 0.01$  g), and body and tail lengths. Species (*Rattus rattus* or

*Rattus norvegicus*) were identified by coat coloration and body-to-tail length ratio (Zilber, 2015; Mohd-Qawiem *et al.*, 2022; Scobie *et al.*, 2024). Age classification was based on body mass (Himsworth *et al.*, 2014), and pregnant females were identified by embryo inspection. Blood and tissues were sent to Institut Pasteur and L2A for pathogen analysis. Meteorological data (2022–2023) and site-specific human population densities were retrieved from Strasbourg’s official sources. (<https://data.strasbourg.eu/explore/dataset/catalogue-de-donnees-demographiques-et-socio-economiques-sur-les-quartiers-de-st/information/>, last accessed on June 23, 2024).

## 2.5 Statistical analyses

All statistical analyses were performed using R (R Core team, 2025) version 4.4.2. Sampling effort was estimated by multiplying trapping nights by the number of traps. Rat relative abundance was calculated from capture success over four nights, following Desvars-Larrive *et al.* (2018). NMDS was used to compare rat communities between urban and peri-urban areas. Exact goodness-of-fit tests assessed sex and age differences in capture success. One-way ANOVAs with post-hoc tests examined adult body mass variations by site, location, and sex. To evaluate factors influencing rat ecology and dynamics, Poisson generalized linear models were used, following Makuya *et al.* (2024), as shown in Table 3.

Tableau 3: Hypothesis and associated models tested on rat ecology and population dynamic

hypotheses	type experiment	model	model type
higher human population density would be associated with greater rat presence	human & rat interactions	Rat.relative.abundance ~ human population density + (1 Sites)	GLMM-Poisson
anthropogenic variables would be associated with greater rat presence	Attracts and feeds rats	Rat.relative.abundance ~ habitat types+ (1 Locations)	GLMM-Poisson
<i>Rattus norvegicus</i> relative abundance is related to location, habitat characteristics, climatic, and seasonal variables	Attract, feed and promote	Rat.relative.abundance ~ Mean_Temp_°C + Rainfall_mm + Habitat.types + Seasons + (1 Locations)	GLMM-Poisson
<i>Rattus norvegicus</i> pregnant female relative abundance is related to location, habitat characteristics, climatic, and seasonal variables	Attract, feed and promote	Pregnate female relative.abundance ~ Mean_Temp_°C + Rainfall_mm + Habitat.types + Seasons + (1 Locations)	GLMM-Poisson
<i>Rattus norvegicus</i> sexual mature relative abundance is related to location, habitat characteristics, climatic, and seasonal variables	Attract, feed and promote	Rat sexual mature relative.abundance ~ Mean_Temp_°C + Rainfall_mm + Habitat.types + Seasons + (1 Locations)	GLMM-Poisson

## 3 RESULTS

### 3.1 Rodents in urban and peri-urban ecosystems of Strasbourg Eurometropole

A total of 150 rats were captured across 8,890 trap-nights, among which 137 from urban areas and 13 from peri-urban areas. Two urban sites (Bergerie Park and Campus CNRS) yielded no

rats. All individuals belonged to *Rattus norvegicus*. Nonmetric multidimensional scaling analyses revealed a high similarity in species community composition between urban and peri-urban ecosystems (Bray-Curtis similarity  $\beta=0.826$ ). Of the captured rats, 56% were females (n=84) and 44% were males (n=66), with a significant difference in sex distribution (P=0.04947). The majority were adults (49.3%), followed by subadults (26.7%) and juveniles (24%). Seventy-six percent of rats were sexually mature, and 18.4% of females were pregnant, with an average litter size of five (Table 2). Rats were trapped in various environments, including garbage kiosks (n=45), bushes with dumps and open defecation (n=49), camping areas (n=26), agricultural garden (n=3); dumping ground (n=12); ecotone (n=1); homeless settlement (n=6); camping (n=26); road proximity (n=6); water proximity (n=1); vegetation behind dwelling (n=1).

Table 2: Sex and age structure of *Rattus norvegicus* captured per site, including the number and percentage of individuals; pregnant females and litter size (number of embryos observed at autopsy).

Tableau 4: Sex and age structure

Sites	Number of rats	Females				Males		
		Adults	Subadults	Juveniles	Pregnant	Adults	Subadults	Juveniles
Campsite (urban)	45	12(14.3%)	7(8.3%)	4(4.8%)	7(6-8)	10(15.2%)	5(7.6%)	7(10.6%)
Danube (urban)	1	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0)	1(1.5%)	0(0.0%)	0(0.0%)
Semencerie (urban)	63	18(21.4%)	7(8.3%)	10(11.9%)	9(5-8)	17(25.8%)	6(9.1%)	5(7.6%)
Elsau (urban)	28	4(4.8%)	7(8.3%)	6(7.1%)	3(7-8)	2(3.0%)	5(7.6%)	4(6.1%)
La Wantzenau (peri-urban)	13	7(8.3%)	2(2.4%)	0(0.0%)	2(7-8)	3(6.1%)	1(1.5%)	0(0.0%)
Total	150	41	23	20	21	33	17	16

### 3.2 Human population density effects on rat relative abundance

We examined how human population density influences the relative abundance of *Rattus norvegicus* across sites in Strasbourg Eurometropole. Rat abundance remained stable below 4,000 inhabitants/km<sup>2</sup> but increased sharply above 6,000 inhabitants/km<sup>2</sup> (Figure 7). A moderate positive correlation between human density and rat abundance was found in urban sites (cor=0.48; 95%IC: -0.69 to 0.95), though not statistically significant (p=0.41). Due to limited peri-urban data, urban–peri-urban comparisons were not statistically feasible. Nonetheless, urban sites (3,341 inhabitants/km<sup>2</sup>) showed a higher mean rat abundance (34 individuals) than the peri-urban site (277 inhabitants/km<sup>2</sup>, 13 individuals), highlighting the impact of human density on rat presence.

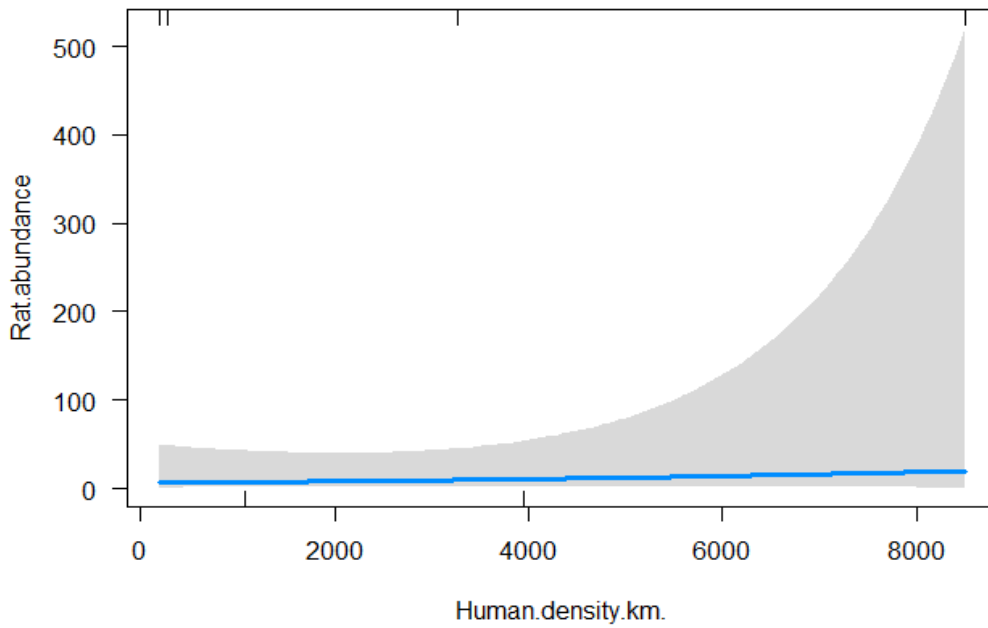


Figure 7: Effect of human population density (inhabitants/km<sup>2</sup>) on *Rattus norvegicus* relative abundance

### 3.3 Anthropogenic variable effects on rat relative abundance

The analysis of *Rattus norvegicus* relative abundance in relation to site location and anthropogenic factors in the Strasbourg Eurometropole revealed a strong association between rat abundance and the presence of garbage kiosks in urban areas. Conversely, garbage kiosks had little influence on rat abundance in peri-urban settings (Figure 8).

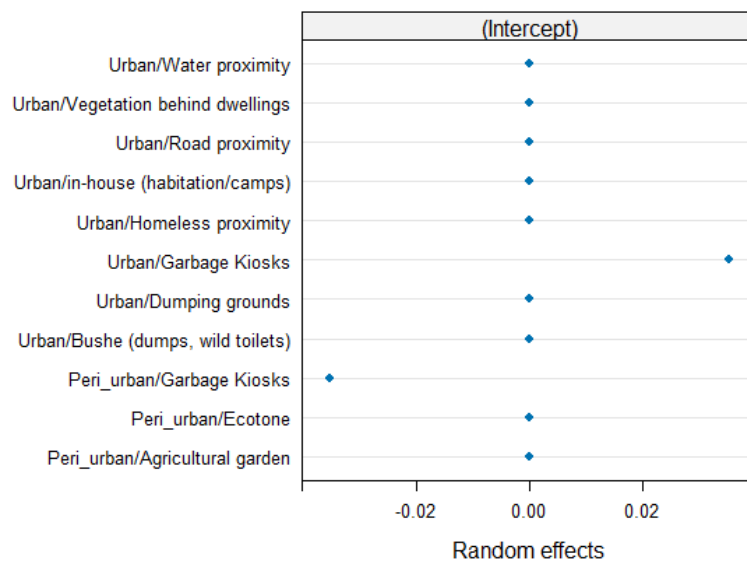


Figure 8: Effects of anthropogenic factors on *Rattus norvegicus* relative abundance across urban and peri-urban sites.

### 3.4 Influence of habitat types, climatic conditions, and seasonal variables on the relative abundance of *Rattus norvegicus*

The influence of habitat type, climatic, and seasonal variables on the relative abundance of *Rattus norvegicus* was assessed in the Strasbourg Eurometropole. Site location, included as a random effect, yielded an intraclass correlation coefficient (ICC) of 0.008 ( $\approx 0.01$ ), indicating that variation in relative abundance occurred not only between urban and peri-urban areas, but also among different urban sites.

The most parsimonious model explaining the relative abundance of *R. norvegicus* identified habitat type as a significant predictor (Df=9, F=3.45, p=0.001). Increased rat abundance was associated with degraded habitats or those located near intense human activity. Conversely, proximity to water bodies was linked to reduced abundance.

Seasonal variation had an additive effect on rat abundance, with a marked increase observed between winter and spring. Rainfall also showed an additive effect: delayed (lagged) precipitation events were associated with reduced rat abundance, likely due to their negative impact on captured success. In contrast, temperature did not exhibit a significant additive effect on rat relative abundance. These patterns are summarized in Figure 9, which illustrates the influence of the environmental and seasonal variables on *R. norvegicus* population dynamics in the Strasbourg Eurometropole.

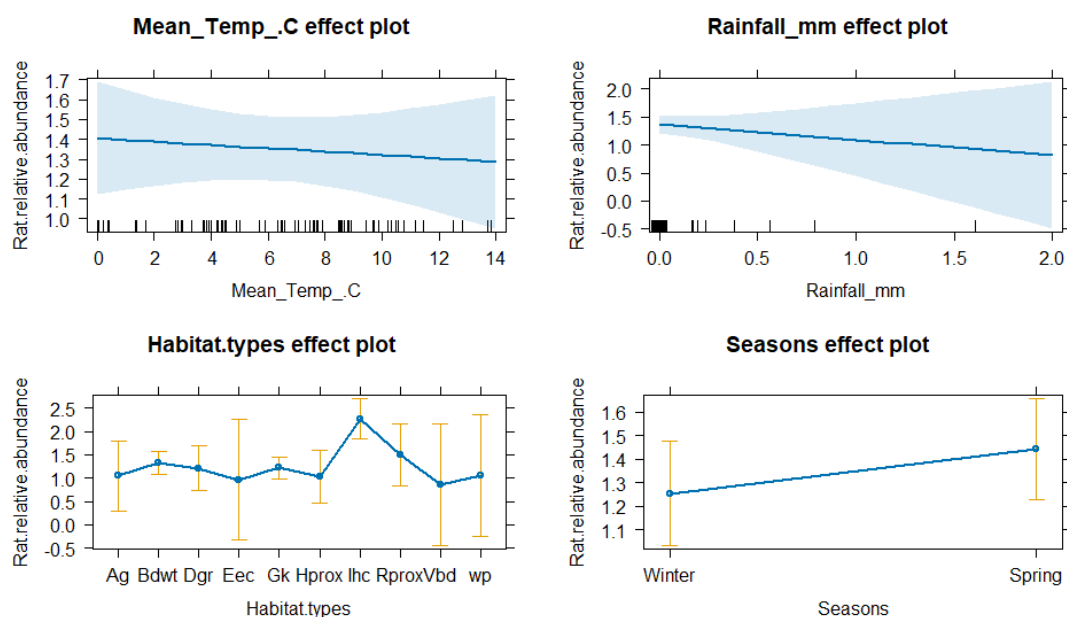


Figure 9: Poisson Generalized linear mixed models (GLMMs) illustrating the effect of habitat types, seasons, and climatic variables on *Rattus norvegicus* abundance

(Ag: agricultural garden, Bdwt: bushes with dumps and wild toilets, Dgr: dumping ground, Eec: ecotone, Gk: garbage kiosks, Hprox: homeless proximity, Ihc: in-house and camp, Rprox: roads proximity, Vbd: vegetation behind dwelling, wp: water proximity)

### 3.5 Influence of habitat types, climatic, and seasonal variables on *Rattus norvegicus* reproductive activity (abundance of pregnant females)

We examined the relative abundance of pregnant females in relation to habitat types, seasons, and climatic variables. The results revealed a negative effect of ambient temperature, indicating that higher temperatures were associated with a reduced abundance of pregnant females ( $df=1$ ,  $F\text{-value}=7.40913$ ,  $p\text{-value}=0.0077$ ). The model showed also that there was no additive effect of both habitat types, rainfall and season on the relative abundance of pregnant rats in our study area. ( $P>0.05$ ). Moreover, location had a significant additive effect ( $ICC=4.45\times 10^{-9}$ ), suggesting that variability in pregnant females' abundance is as pronounced within urban areas as it is between urban and peri-urban environments. These findings are illustrated in Figure 10.

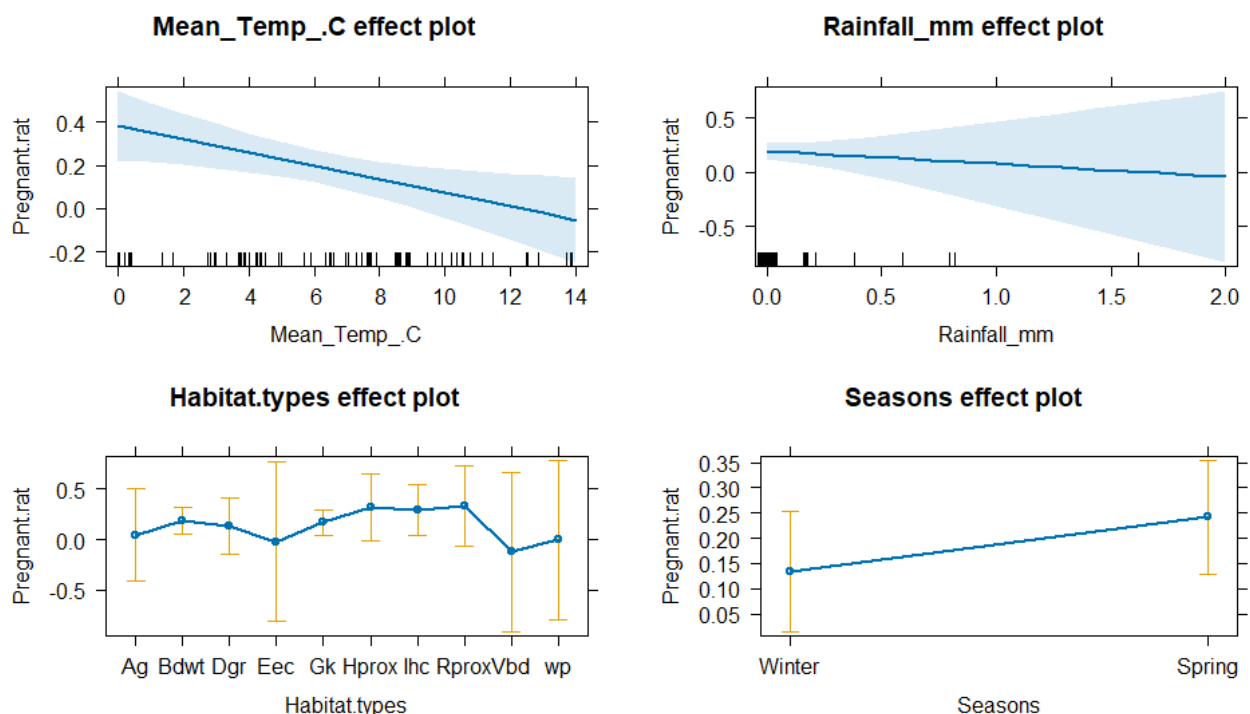


Figure 10: Poisson Generalized linear mixed models (GLMMs) illustrating the effect of season, habitat types and climatic variables on *Rattus norvegicus* reproduction

(Ag: agricultural garden, Bdwt: bushes with dumps and wild toilets, Dgr: dumping ground, Eec: ecotone, Gk: garbage kiosks, Hprox: homeless proximity, Ihc: in-house and camp, Rprox: roads proximity, Vbd: vegetation behind dwelling, wp: water proximity)

### 3.6 Influence of locations, season, rainfall, habitat types and temperature on *R. norvegicus* mature abundance

*R. norvegicus* sexual maturity appeared to be driven by habitat type effects especially with campsite/habitation' promoting rapid attainment of sexual maturity, whereas the habitat type: road proximity' was not conducive to a quick reach of sexual maturity of *Rattus norvegicus* in

Strasbourg Eurometropole (Figure 11). The model included locations as an additive effect, (ICC=3.542999e-09): the relative abundance of sexually mature rats exhibited as much variation between urban sites as it does between urban and peri-urban areas. The model included no evident additive effect for seasonal, temperature and rainfall on the relative abundance of sexually mature rats in the city.

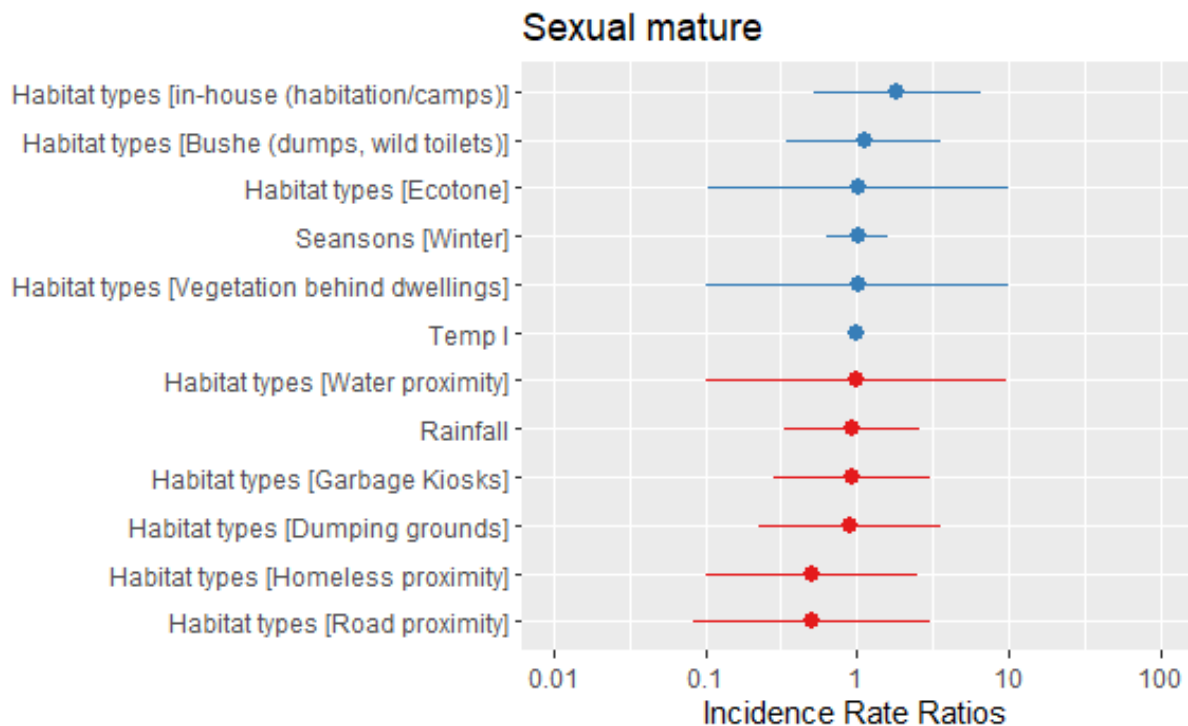


Figure 11: Poisson Generalized linear mixed models (GLMMs) illustrating the effect of season, habitat types and climatic variables on *Rattus norvegicus* maturity

(abundance of sexual mature rates).

### 3.7 Influence of site characteristics, locations, and sex on body mass and morphometric traits in *Rattus norvegicus*

We examined how site-specific factors (particularly food availability), locations (urban vs. peri-urban), and sex influenced the body mass and morphometrics of *Rattus norvegicus*. ANOVA and post-hoc comparisons showed that sampling site significantly affected female body mass, with individuals from Site4C heavier than those from Site1W ( $p < 0.001$ ) and Site2S ( $p < 0.05$ ); no difference was found between Site1W and Site2S. In contrast, male body mass did not differ significantly between sites (figure 12A). Inter-sex comparisons within sites showed no significant differences, except at Site3E ( $F(1, n)=1.913, p=0.0599$ , Figure 12B). Regarding locations, female body mass was significantly higher in urban than in peri-urban areas ( $F(1, n)=2.233, p=0.05$ ), whereas male body mass did not vary by location (Figure 13). Site D was excluded due to insufficient data ( $n=1$ ).

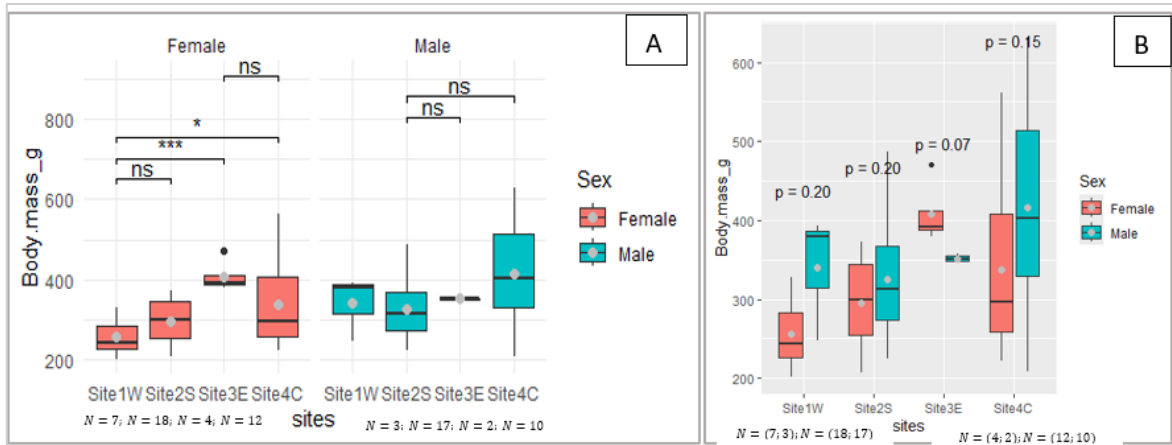


Figure 12: Analysis of variance (ANOVA) illustrating the difference in *R. norvegicus* body mass between sites (A) and sex (B)

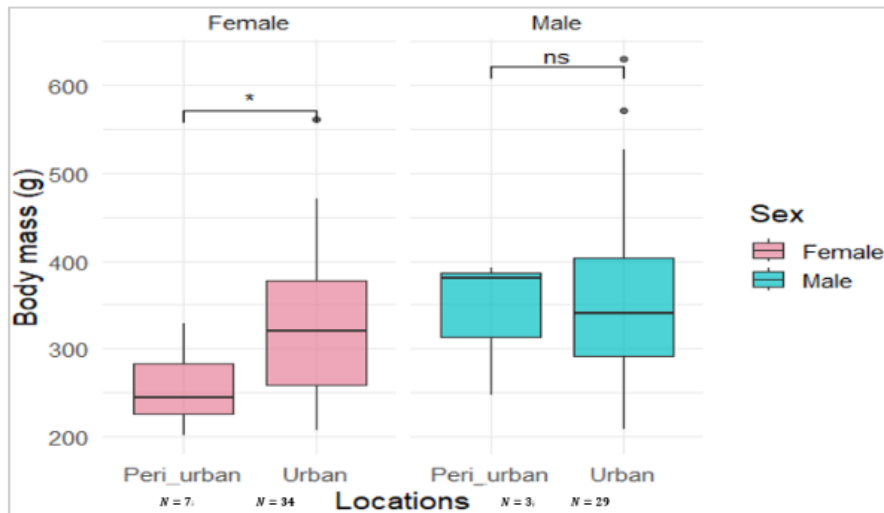


Figure 13: Analysis of variance (ANOVA) illustrating the difference in *R. norvegicus* body mass(g) between urban and peri-urban sites of Strasbourg Eurometropole

#### 4- DISCUSSION

This study aimed to identify environmental features promoting *Rattus norvegicus* abundance across urban and peri-urban sites in the Strasbourg Eurometropole. A total of 150 individuals were captured. Females represented 56% (n=84) and males 44% (n=66). This number of rodents captured after 254 nights of trapping, was possible according to the trapping technic used during the sampling, the method of Goss & Bonnet (1949). Only *R. norvegicus* was found, suggesting it is particularly well-adapted to local environmental conditions. This observation supports its known ecological plasticity and synanthropic behavior, as described by Feng & Himsforth (2014). The absence of other rodent species, such as *Rattus rattus*, may be explained by interspecific competition, with *R. norvegicus*—being more aggressive and dominant—

excluding native or less-adapted species (Puckett *et al.*, 2016). Furthermore, habitat homogenization and urban planning may reduce habitat heterogeneity, thus favoring generalist species like *R. norvegicus* while disadvantaging specialists with narrower ecological requirements (Parsons *et al.*, 2018). These findings emphasize the importance of urban environmental structure in shaping rodent communities.

This study hypothesized that higher human population density would be associated with greater *Rattus norvegicus* abundance in Strasbourg Eurometropole. Although the data revealed a positive trend, with rat numbers increasing beyond a certain density threshold, the relationship was not statistically significant ( $p=0.463$ ), likely due to the limited number of sampled neighborhoods ( $n=6$ ). Nevertheless, the observed trend supports the idea that densely populated areas may offer favorable conditions for rats, including increased food waste, shelter, and access to anthropogenic resources. These findings are consistent with previous studies showing that rodent abundance is influenced by a complex interplay of ecological and socio-environmental factors such as sanitation, building infrastructure, food access, and waste management practices (Parsons *et al.*, 2017; Himsforth *et al.*, 2014). The results highlight the importance of incorporating broader environmental and social variables in future research. Expanding the number and diversity of sampling sites would improve statistical power and interpretation.

To investigate rat infestation drivers, we hypothesized that anthropogenic factors like waste accumulation would more strongly influence *Rattus norvegicus* presence in urban than in peri-urban areas. Our results confirmed this: in urban areas, the presence of garbage kiosks was significantly associated with higher rat abundance, while in peri-urban settings, their effect was minimal. This difference likely reflects variations in waste management and landscape structure. Urban kiosks often contain abundant, poorly managed food waste, providing ideal conditions for rats (Feng & Himsforth, 2014). In contrast, peri-urban areas may offer alternative food sources or better waste control. These findings align with earlier studies showing the close link between *R. norvegicus* and anthropogenic food sources in dense urban environments (Parsons *et al.*, 2017; Tamayo-Uria *et al.*, 2014). Targeted control strategies should therefore focus on sanitation at waste hotspots. Supporting this, the highest rat abundance was found near dumps and open defecation, emphasizing the key role of food-rich human waste areas.

We hypothesized that rat abundance would be higher in urban than peri-urban areas. Our data confirmed this: *Rattus norvegicus* density was significantly greater in urban sites (91.33%,  $n=137$ ) compared to peri-urban sites (8.7%,  $n=13$ ) (Chi-square=61.814,  $P=0.0001$ ). This indicates that rat abundance increases with urbanization level. Urban areas likely provide more

suitable habitats due to greater resource availability and lower competition or predation. As a highly synanthropic species, *R. norvegicus* thrives in human-modified environments, explaining its dominance in urban zones (Panti-May *et al.*, 2016). This result supports our initial prediction about urban influence on rat populations.

To better understand *Rattus norvegicus* dynamics in Strasbourg Eurometropole, we examined habitat, climate, and seasonality influences. Habitat type was the strongest predictor of rat abundance, with degraded areas and zones of intense human activity linked to higher numbers, consistent with Parsons *et al.* (2017) and Feng & Himsworth (2014), who highlight the species' reliance on anthropogenic food and shelter. Abundance was lower near water bodies, suggesting less favorable conditions, possibly due to competition or habitat instability. Seasonal patterns showed abundance peaking from winter to spring, mirroring reproductive cycles reported in New York and Vancouver (Glass *et al.*, 1988; Himsworth *et al.*, 2014). Lagged rainfall negatively affected trapping success, likely by reducing efficiency (Krasnov *et al.*, 2003), while ambient temperature had no significant overall impact. However, pregnant females decreased with rising temperature, indicating potential thermal stress or fertility constraints (Davis *et al.*, 2005), with reproduction more influenced by physiological than environmental factors (Stenseth *et al.*, 2003). Sexual maturity correlated with habitat, occurring earlier in campsites and residential zones but delayed near roadsides (Bronson & Perrigo, 1987). Low random site effects ( $ICC \approx 0.01$ ) revealed intra-urban variability, supporting the role of fine-scale heterogeneity in rodent ecology (Feng & Himsworth, 2014; Desvars-Larrive *et al.*, 2017). These findings highlight habitat and seasonality as key drivers for rat populations and reproduction, crucial for zoonotic risk management.

We hypothesized that site characteristics, location, and sex influence *Rattus norvegicus* body mass and morphometry. Results showed female body mass significantly varied by site and urbanization level, whereas male body mass remained stable across locations. This sex-specific response likely reflects differing reproductive demands and energy allocation strategies. Higher female body mass in urban areas, particularly at Site4C, suggests better food availability and habitat quality, consistent with previous studies highlighting the role of anthropogenic food in shaping urban rodent populations (Feng & Himsworth, 2014; Parsons *et al.*, 2017). In contrast, the stability of male body mass across sites may reflect broader ranging behavior or less sensitivity to local resource variation, as suggested by McGuire *et al.* (2013). Inter-sex comparisons showed minimal differences, with a slight exception at Site3E, indicating limited sexual dimorphism in body mass. The observed urban-driven increase in female body mass aligns with trends in other urban wildlife species, where food subsidies and reduced predation

enhance female fitness (Murray *et al.*, 2015). Overall, these findings underscore the influence of urban environmental factors on female, but not male, body condition in *R. norvegicus*.

## **CONCLUSION**

This study investigates the ecological patterns and environmental factors shaping the distribution and traits of *Rattus norvegicus* in Strasbourg Eurometropole. All 150 captured individuals belonged to this species, confirming its dominance. Its presence and abundance were positively associated with urban features like buildings and waste sites, while extensive green areas correlated with its absence. Urban zones supported higher densities than peri-urban ones, and rat numbers peaked in spring. Although human density seemed to favor abundance, the effect was not significant. Rainfall negatively affected both abundance and reproduction, particularly in peri-urban sites. Reproductive traits varied with habitat: rats in campsites and residential areas matured earlier than those near roads. Female body mass differed by site, unlike males. Overall, *R. norvegicus* ecology is closely tied to urbanization and human activity. These findings highlight the need for integrated urban planning and waste management strategies to control rat populations and reduce associated health risks.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

We thank SCAC, Campus France Strasbourg, and the French Embassy of Togo for supporting this study. We are also grateful to the ADAGE group and CERF team for their assistance during fieldwork. Special thanks go to David Bock, Aurélie Hranitzky, Nicolas Spanier, Jean Patrice Robin, Carsten Schradin, Arthur Hebrard, Jean-Yves Georges, Sylvie Messemin, Maëlle Oberlin, Hélène Gachot, Hugo Chignec, Clément Permet, Camille Lemonnier, and Elisabeth Parantin for their invaluable help in data collection and their suggestions to improve this work

Références : voir bibliographie de la thèse

### 6.3 -Article 2

#### **Titre : Écologie urbaine et dynamique des rats : études de cas à Lomé (Togo) et à l'Eurométropole de Strasbourg (France)**

To be submitted to: Urban Ecology Journal

#### **Résumé**

L'urbanisation constitue aujourd'hui l'un des principaux moteurs de transformation des écosystèmes. Elle modifie profondément les habitats, les interactions interspécifiques et les dynamiques de populations animales. Certaines espèces commensales tirent profit de ces transformations pour s'implanter durablement en milieux urbains. Dans ce contexte, une étude comparative a été menée dans deux villes comme Lomé (Afrique de l'Ouest) et Strasbourg (Europe occidentale) pour analyser la variabilité écologique et sanitaire des populations de rats dans des environnements urbains distincts. Une campagne de piégeages saisonniers dans les deux villes à l'intérieur et à la périphérie a permis la capture de 186 rongeurs. Les analyses ont révélé que les populations de rats exploitent préférentiellement les habitats urbains, où ressources et densité humaine favorisent leur implantation. *Rattus norvegicus* domine à Strasbourg, tandis qu'à Lomé la communauté est plus diversifiée avec la présence d'espèces autochtones. Les dynamiques de population sont modulées par des facteurs écologiques (température, pluviométrie, végétation, hydrographie), anthropiques (gestion des déchets, abondance des habitations) et saisonniers. Les analyses morphologiques révèlent des différences significatives entre villes, et les ectoparasites recensés, bien que peu diversifiés, confirment leur rôle potentiel dans la transmission de pathogènes. Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion différenciée et adaptée aux contextes locaux pour limiter les risques sanitaires associés aux rats urbains.

Mot clés : Ecologie urbaine, Rats, Rongeurs commensale, Lomé, Strasbourg

## Introduction

Les milieux urbains représentent des écosystèmes profondément transformés par l'activité humaine. La densité des infrastructures, la fragmentation des habitats naturels et l'abondance de ressources issues des activités humaines créent des niches écologiques nouvelles, exploitées par certaines espèces commensales (Parsons *et al.*, 2020). Ces espèces, capables d'ajuster leur comportement et leur écologie à des environnements artificiels, deviennent des éléments structurants de la biodiversité urbaine (Alberti, 2015).

Parmi ces espèces, les rats (*Rattus rattus* et *Rattus norvegicus*) sont considérés comme des modèles pertinents pour l'étude de l'écologie urbaine en raison de leur plasticité comportementale et physiologique (Himsworth *et al.*, 2013). Leur capacité à exploiter une large gamme d'habitats (réseaux d'égouts, décharges, marchés, parcs et bâtiments) en fait des organismes clés pour comprendre comment les structures urbaines influencent la distribution et la dynamique des populations animales (Aplin *et al.*, 2003 ; Desvars-Larrive *et al.*, 2017).

La dynamique des populations de rats est déterminée par l'interaction entre la disponibilité en ressources, la configuration de l'habitat et les pressions anthropiques, notamment les campagnes de lutte (Stenseth *et al.*, 2003 ; Panti-May *et al.*, 2016). Par exemple, à Salvador de Bahia (Brésil), des densités élevées de déchets alimentaires ont été corrélées à une forte abondance de *Rattus norvegicus* (Costa *et al.*, 2018). De même, à Vancouver (Canada), la connectivité des égouts a été identifiée comme un facteur majeur structurant la distribution spatiale des populations (Himsworth *et al.*, 2014).

Or, au-delà de leur rôle écologique, les rats constituent des réservoirs et vecteurs de multiples agents pathogènes responsables de zoonoses, telles que la leptospirose, la salmonellose et certaines fièvres virales (Kosoy *et al.*, 2015 ; Meerburg *et al.*, 2009). Ils hébergent également une diversité d'ectoparasites (puces, poux, tiques, acariens) dont plusieurs sont reconnus comme vecteurs de pathogènes d'importance médicale (Durden & Musser, 1994 ; Beaucournu *et al.*, 2014). À Marseille, des études ont révélé une prévalence élevée de puces infectées par *Bartonella* spp. chez les rats (Buffet *et al.*, 2006), confirmant leur rôle potentiel dans la circulation de zoonoses en milieu urbain.

L'écologie des rats urbains reste peu explorée dans une perspective comparative entre métropoles de contextes contrastés. Pourtant, les conditions environnementales, climatiques et structurelles varient fortement d'une ville à l'autre et modulent la disponibilité des ressources, les microclimats et la configuration des habitats. Par exemple, Blasdell *et al.* (2022) ont montré que le domaine vital de *R. rattus* différait significativement selon la densité des structures bâties et la végétation associée. Comparer deux villes comme Lomé (Afrique de l'Ouest) et Strasbourg

(Europe occidentale) offre ainsi une opportunité unique pour analyser la variabilité écologique et sanitaire des populations de rats dans des environnements urbains distincts.

Cette étude vise à analyser l'écologie urbaine des rats et de leurs ectoparasites à travers quatre dimensions : (i) la caractérisation de l'habitat et de la distribution spatiale des populations, (ii) la dynamique démographique (abondance, structure morphologique et traits), (iii) l'influence des facteurs écologiques et anthropiques (densité humaine, présence de dépotoirs, des points d'eau, d'infrastructures), et (iv) la diversité et la charge des ectoparasites. Nous faisons l'hypothèse que la disponibilité en ressources et abris influence directement l'abondance et la distribution des rats, que la densité humaine est positivement corrélée à leur abondance, que la composition parasitaire varie selon le contexte écologique, et que les traits morphologiques des populations diffèrent entre Lomé et Strasbourg.

## **Matériel et méthodes**

### **Cadres d'étude**

L'étude a été conduite dans deux métropoles contrastées sur les plans écologiques, climatiques et socio-économiques : Lomé, capitale du Togo située sur le littoral du golfe de Guinée, et l'Eurométropole de Strasbourg, dans la région Grand Est de la France.

Ces deux villes présentent des environnements urbains profondément différents, tant par leur climat que par leur morphologie urbaine, leur densité de population et leurs infrastructures de gestion environnementale.

Lomé, ville côtière tropicale d'Afrique de l'Ouest, se caractérise par un climat chaud et humide de type subéquatorial, avec une température moyenne annuelle avoisinant 27 °C et une pluviométrie comprise entre 800 et 1 200 mm selon les années. La ville connaît une urbanisation rapide, et souvent non planifiée. Les conditions d'hygiène, de collecte des déchets et d'assainissement y sont inégalement assurées.

À l'inverse, Strasbourg, métropole européenne tempérée, bénéficie d'un climat semi-continentale marqué par des hivers froids et des étés modérément chauds, avec une température moyenne annuelle d'environ 10,5 °C et une pluviométrie moyenne de 700 mm. La ville dispose d'un réseau d'infrastructures urbaines et d'assainissement dense et bien organisé, ainsi que d'un système de gestion des déchets structuré. La municipalité mène depuis plusieurs décennies des programmes réguliers de lutte intégrée contre les rats, coordonnés par les services d'hygiène publique.

Cette opposition entre un contexte tropical en développement et un contexte européen industrialisé offre un cadre comparatif particulièrement pertinent pour étudier les déterminants écologiques, anthropiques et climatiques de la dynamique des populations de rats.

La description détaillée des sites d'échantillonnage, incluant leurs localisations (carte), caractéristiques écologiques et typologie urbaine, est présentée au chapitre 5 de cette thèse.

### **Stratégie d'échantillonnage et dispositifs de piégeage**

L'échantillonnage des rongeurs a été réalisé entre janvier 2022 et octobre 2024, selon un protocole standardisé et stratifié par type d'habitat, distinguant les zones urbaines fortement anthropisées des zones péri-urbaines en périphérie.

À **Strasbourg**, deux campagnes ont été menées : de janvier à mai 2022 (5 mois) et de février à avril 2023 (3 mois). Au total, 150 rats ont été capturés sur sept sites (six urbains et un péri-urbain), répartis dans cinq quartiers représentatifs de la diversité des habitats urbains de l'agglomération.

À **Lomé**, deux campagnes ont également été conduites : de septembre à novembre 2023, puis d'août à octobre 2024. Cinq quartiers ont été sélectionnés (trois urbains et deux péri-urbains). Lors de la première phase, un piège artisanal localement conçu a été testé sans succès, puis remplacé par des pièges Hénon®, qui ont permis la capture de 36 individus au total.

L'effort global de piégeage s'élève à 12 429 nuits-piège, dont 8 944 à Strasbourg et 3 485 à Lomé. Les pièges étaient disposés le long de transects espacés d'environ 100 m, suivant les pistes d'activité des rats identifiées au moment du piégeage. Les appâts utilisés variaient selon les contextes locaux : croquettes pour chien et pâte d'arachide à Strasbourg ; pâte d'arachide et pain à Lomé.

Le suivi des pièges était réalisé selon une fréquence adaptée au contexte :

- à Strasbourg, les pièges étaient vérifiés chaque matin pendant quatre nuits consécutives ;
- à Lomé, la vérification avait eu lieu trois fois par jour (matin, midi, soir) durant cinq jours consécutifs.

Chaque capture entraînait le remplacement immédiat du piège par un dispositif identique afin de maintenir un effort de piégeage constant. Les individus capturés ont été transportés vivants au laboratoire pour les mesures et prélèvements.

### **Manipulation, identification et mesures morphologiques**

Les rongeurs capturés ont été manipulés conformément aux normes éthiques en vigueur dans chaque pays. En France, l'étude a été conduite avec l'autorisation du ministère de

l'Enseignement supérieur et de la Recherche (accord APAFIS #34416-2021112911335464 v7), et sous le contrôle des comités institutionnels d'éthique. Au Togo, les activités ont été menées selon les réglementations nationales relatives à la capture et à l'euthanasie des animaux.

Chaque individu a été anesthésié à l'isoflurane, puis identifié morphologiquement au niveau de l'espèce à l'aide de la méthode de (Mohd-Qawiem *et al* 2022) et (Monadjem *et al.*, 2015). L'euthanasie a été pratiquée par dislocation cervicale, méthode recommandée pour limiter la douleur et le stress.

Les mesures morphométriques suivantes ont été relevées pour chaque individu :

- la masse corporelle (balance de précision  $\pm 0,01$  g),
- la longueur tête–corps (museau–anus, en cm),
- la longueur de la queue (en cm).

Ces mesures ont permis d'analyser la variabilité morphologique intra- et inter-populations, ainsi que d'évaluer les différences de traits entre les deux villes.

### **Collecte et identification des ectoparasites**

Chaque rongeur a fait l'objet d'un examen systématique afin de recueillir l'ensemble des ectoparasites externes (puces, tiques, acariens et poux). Les spécimens ont été prélevés à l'aide de pinces fines, puis conservés dans de l'éthanol à 70 % avant identification. L'observation a été effectuée sous loupe binoculaire, en s'appuyant sur les clés morphologiques de référence (Durdin & Musser, 1994 ; Beaucournu *et al.*, 2014). Les tiques à l'état larvaire, difficiles à déterminer précisément, ont été regroupées au rang de genre (*Ixodes*, *Haemaphysalis*).

Ces données ont permis d'évaluer la diversité parasitaire, la prévalence et la charge moyenne d'infestation par individu, paramètres essentiels pour relier la dynamique des hôtes à celle de leurs parasites.

### **Variables environnementales, climatiques et démographiques**

Les coordonnées géographiques (GPS) de chaque point de capture ont été enregistrées et intégrées dans un Système d'Information Géographique (SIG) à l'aide du logiciel QGIS. Autour de chaque site, un rayon de 110 m a été défini, correspondant approximativement au domaine vital moyen de *R. rattus* (Blasdell *et al.*, 2022). Les variables environnementales considérées incluaient :

- la présence de points d'eau,
- la présence de dépotoirs ou zones de déchets,
- la densité de végétation (calculée à partir de l'indice de végétation NDVI), et

- l'occupation du sol (bâti, espaces verts, surfaces en eau).

La classification supervisée a été réalisée à partir d'images Landsat 8 OLI, traitées via le plugin SCP du logiciel QGIS (version 3.80). Les données climatiques (température et précipitations journalières) ont été obtenues auprès des services météorologiques nationaux de Lomé et de Strasbourg pour la période janvier 2022 – octobre 2024. Les données démographiques et de densité humaine ont été extraites des bases officielles d'open data des deux villes.

### **Analyses statistiques**

Les analyses statistiques ont été effectuées sous le logiciel R (version 4.5.1). Elles visaient à explorer la structure des communautés de rongeurs, la dynamique démographique, les relations entre facteurs environnementaux et abondance, ainsi que la diversité des ectoparasites.

Les méthodes utilisées sont les suivantes :

- Analyse de la diversité et de l'abondance : calcul des indices de Shannon et de Simpson, estimateurs de richesse (Jackknife 1 et Bootstrap), et courbes de raréfaction pour évaluer l'exhaustivité de l'échantillonnage.
- Analyse des facteurs d'influence : modèles linéaires généralisés (GLM) et modèles linéaires mixtes (GLMM) afin de tester les effets des covariables environnementales et anthropiques (type d'habitat, densité humaine, précipitations, présence des points d'eau, etc.) sur l'abondance relative des rongeurs.
- Analyses multivariées : ordination par non-metric multidimensional scaling (NMDS), analyse canonique des correspondances (CCA) et PERMANOVA pour explorer les relations entre communautés et environnement.
- Comparaisons intergroupes : analyses de variance (ANOVA) ou tests non paramétriques de Kruskal–Wallis selon la distribution des données.

Les tests de significativité ont été conduits au seuil de  $p < 0,05$ .

## **Résultats**

### **Effort de piégeage et structure générale des captures**

L'ensemble de la campagne de terrain, menée entre 2022 et 2024 dans les deux métropoles, avait permis la capture de 186 individus de rongeurs pour un effort cumulé de 12 429 nuits-piège, dont 8 944 à Strasbourg et 3 485 à Lomé. Les captures ont été très majoritairement réalisées en milieu urbain (163 individus, soit 87,6 %) contre seulement 23 individus (12,4 %) en zones périurbaines. Le test exact de Fisher a révélé une différence hautement significative

d'abondance relative entre milieux (*odds ratio* = 49,25 ; IC 95 % : 26,02–98,01 ;  $p < 2,2 \times 10^{-16}$ ), confirmant la prédominance des rats dans les habitats fortement anthropisés.

La structure sexuée des populations était relativement équilibrée, avec 46,2 % de mâles et 53,8 % de femelles ; la différence n'était pas statistiquement significative ( $p = 0,202$ ). L'analyse de la structure d'âge a montré une majorité d'adultes (55,9 %), suivis des subadultes (25,8 %) et des juvéniles (18,2 %), distribution significativement différente d'un modèle aléatoire ( $p = 1,85 \times 10^{-8}$ ), indiquant une population stable et bien implantée dans les milieux étudiés.

### Composition spécifique des communautés de rongeurs

Cinq espèces de rongeurs ont été identifiées sur l'ensemble des sites étudiés (Tableau 6), avec les proportions suivantes :

- *Rattus norvegicus* (83,3 %,  $n = 155$ )
- *Rattus rattus* (5,9 %,  $n = 11$ )
- *Arvicanthis niloticus* (7,5 %,  $n = 14$ )
- *Mastomys natalensis* (2,7 %,  $n = 5$ )
- *Cricetomys gambianus* (0,5 %,  $n = 1$ )

Ces espèces sont toutes représentées à Lomé (Photo 10), tandis qu'à Strasbourg, seule *Rattus norvegicus* a été détectée (photo 11), traduisant un peuplement quasi monospécifique. Les estimateurs de richesse (Jackknife 1 =  $7,3 \pm 2,5$  ; Bootstrap =  $6,0 \pm 1,5$ ) suggèrent que l'échantillonnage a permis de capturer la majorité des espèces présentes. Cette différence de diversité spécifique traduit un contraste marqué entre un contexte tropical (diversifié, cohabitation de *Rattus* spp. et muridés autochtones) et un contexte tempéré dominé par une seule espèce ubiquiste.

Tableau 5: Rongeurs urbains de Lomé et de l'Eurométropole de Strasbourg

Espèce de rongeurs	Ville et habitat			
	Lomé		Strasbourg	
	Urbain	Périurbain	Urbain	Périurbain
<i>Arvicanthis niloticus</i>	14 (53,84%)	0(0,0%)	0(0,0%)	0(0,0%)
<i>Cricetomys gambianus</i>	0(0,0%)	1 (10%)	0(0,0%)	0(0,0%)
<i>Mastomys natalensis</i>	5 (19,23%)	0(0,0%)	0(0,0%)	0(0,0%)
<i>Rattus norvegicus</i>	4 (15,38%)	1 (10%)	137 (100%)	13 (100%)
<i>Rattus rattus</i>	3(11,54%)	8 (80%)	0(0,0%)	0(0,0%)
Nb. total d'individus	26	10	137	13
Nb. total d'espèces	4	3	1	1
Nb. total de piège posé	27	14	74	12
Nb. total de nuit/jour-piège	73	12	82	22
Succès de capture	0,96	0,71	1,85	1,08



*Photo 10 : Rats urbains de Lomé*

Animal de gauche à droite : *Mastomys natalensis*, *Rattus rattus*, *Arvicanthis niloticus*, *Rattus norvegicus*, *Cricetomys gambianus* (photos personnelles)



*Photo 11: Rats urbains de Strasbourg*

*Rattus norvegicus* (photo personnelle)

### **Structure spatiale et caractéristiques d'habitat**

L'analyse des indices de végétation (NDVI) a confirmé la distinction nette entre milieux urbains et périurbains dans les deux contextes.

- À Strasbourg, le NDVI moyen était de 0,612 en milieu urbain et de 0,648 en milieu périurbain (écart-type = 0,036), traduisant une végétation modérément plus dense en périphérie.
- À Lomé, les valeurs étaient respectivement de 0,39 et 0,45 (écart-type = 0,06), indiquant une différence similaire mais plus prononcée en raison de la forte imperméabilisation des zones centrales.

Les analyses de similarité (indice de Sørensen) et d'ordination (NMDS) mettent en évidence une hétérogénéité marquée entre les sites urbains et périurbains (Figure 14A-D), mais sans différence significative selon la PERMANOVA ( $p = 0,38$  à Strasbourg ;  $p = 0,60$  à Lomé).

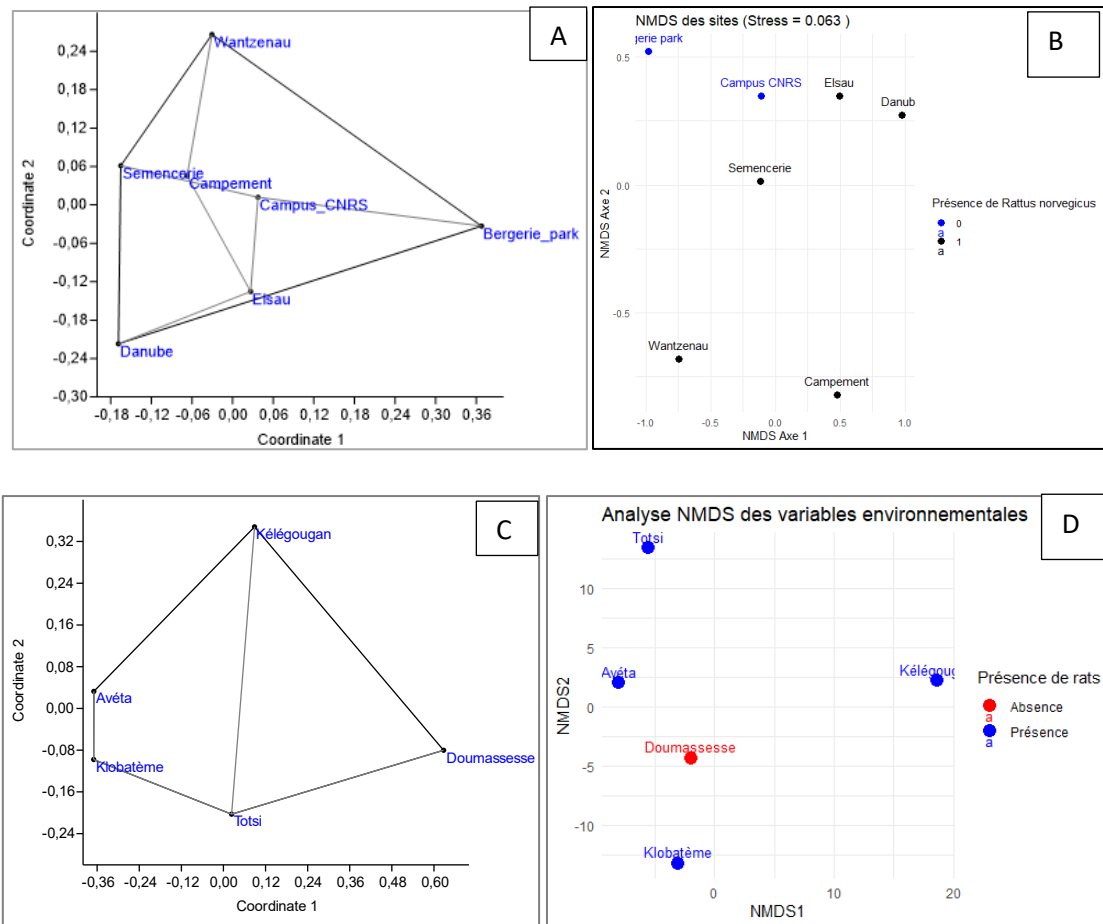


Figure 14: Ordination des écosystèmes urbains et distribution des rongeurs (A&B : Strasbourg ; C&D : Lomé)

(Coordinate 1 : Similarité en termes de variables environnementales ; coordinate 2 : similarité en termes de distance ; NMDS1 et NMDS2 : axes d'ordination et de distribution des rongeurs).

L'analyse canonique des correspondances (CCA) révèle cependant des tendances écologiques différenciées (Figure 15). L'axe CCA1 explique la majeure partie de la variance (79.58%) et distingue principalement les espèces selon des gradients environnementaux dominants, tandis que l'axe CCA2 (20.42 %) affine cette séparation sur des gradients secondaires.

- *Rattus rattus* apparaît positivement corrélé à la température et à la pluviométrie, confirmant son affinité pour des environnements chauds et humides.
- *Rattus norvegicus* occupe une position centrale dans l'ordination, indiquant une tolérance écologique large et une plasticité élevée vis-à-vis des gradients environnementaux.
- Les espèces autochtones (*Arvicanthis niloticus*, *Mastomys natalensis*, *Cricetomys gambianus*) montrent une association plus marquée à la densité humaine et aux zones d'habitat mixte.

Les variables de végétation et d'imperméabilisation du sol présentent une corrélation négative avec l'abondance des espèces dominantes, suggérant que la forte densité de bâtie limite localement la présence des rats dans certains micro-habitats.

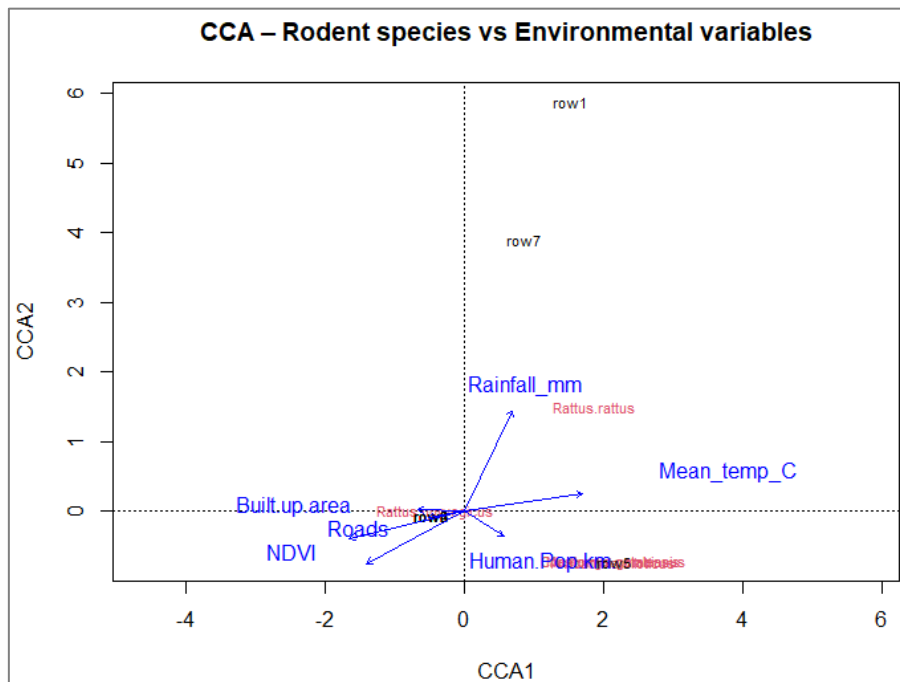


Figure 15: Distribution des espèces de rongeurs selon les variables environnementales

Enfin, l'analyse ROC confirme ces différences : *R. norvegicus* ne manifeste aucune préférence nette (AUC = 0,551 ; Figure 16A), tandis que *R. rattus* présente une spécificité d'habitat très marquée (AUC = 0,969 ; Figure 16B).

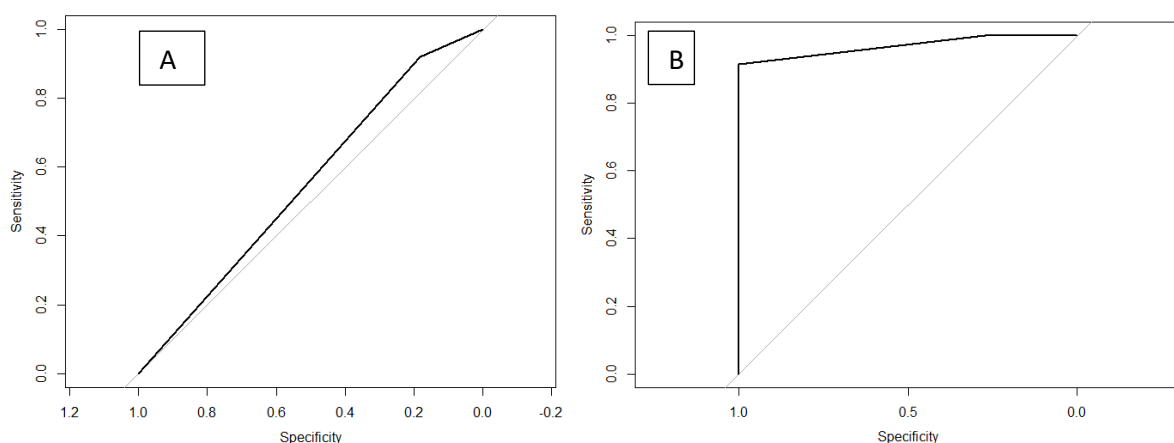


Figure 16: Préférences d'habitat de *Rattus norvegicus* et *Rattus rattus*

(écosystèmes urbains et péri-urbains de la ville de Lomé et de Strasbourg)

### Dynamique démographique et caractéristiques morphologiques

L'analyse comparative de l'abondance relative entre villes et types d'habitat révèle des contrastes nets.

- À Strasbourg, les 150 captures se répartissent en 137 individus urbains (91,3 %) et 13 périurbains (8,7 %).
- À Lomé, sur 36 individus capturés, 26 proviennent des zones urbaines (72,2 %) et 10 des zones périurbaines (27,8 %).

La différence entre les deux villes est hautement significative (test exact de Fisher : *odds ratio* = 0,056 ; IC 95 % : 0,025–0,117 ;  $p < 2,2 \times 10^{-16}$ ), traduisant une abondance relative plus élevée à Strasbourg.

Concernant la diversité, la richesse spécifique est plus forte à Lomé (cinq espèces) qu'à Strasbourg (une seule). Les indices de diversité confirment cette tendance : à Lomé,  $qD_1$  (Shannon) = 4,21 et  $qD_2$  (Simpson) = 3,80 (couverture  $\approx 0,97-1$ ), tandis qu'à Strasbourg, la diversité est uniforme ( $qD_1 = qD_2 = 1$ ). La différence inter-villes, bien que marquée sur le plan qualitatif, n'est pas statistiquement significative (test exact de Fisher :  $p = 0,08$ ).

Entre sites urbains et périurbains, la diversité demeure stable et égale à 1 à Strasbourg, tandis qu'à Lomé, la diversité était légèrement élevée en milieu urbain sans différence significative (Figure 17).

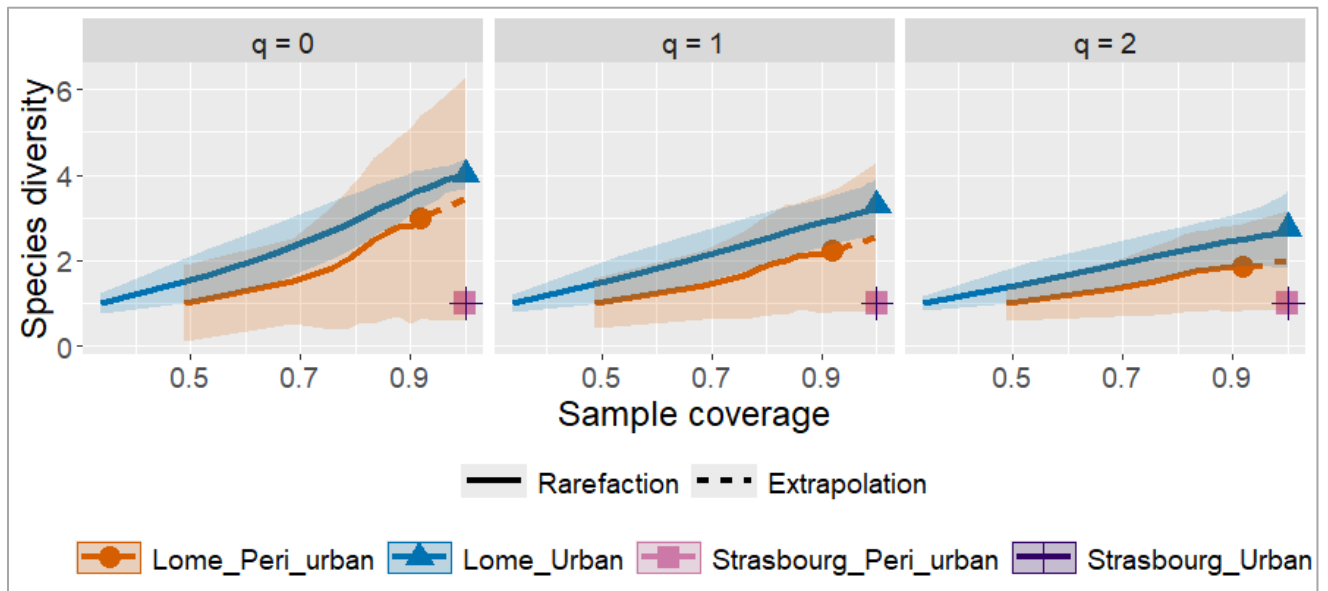


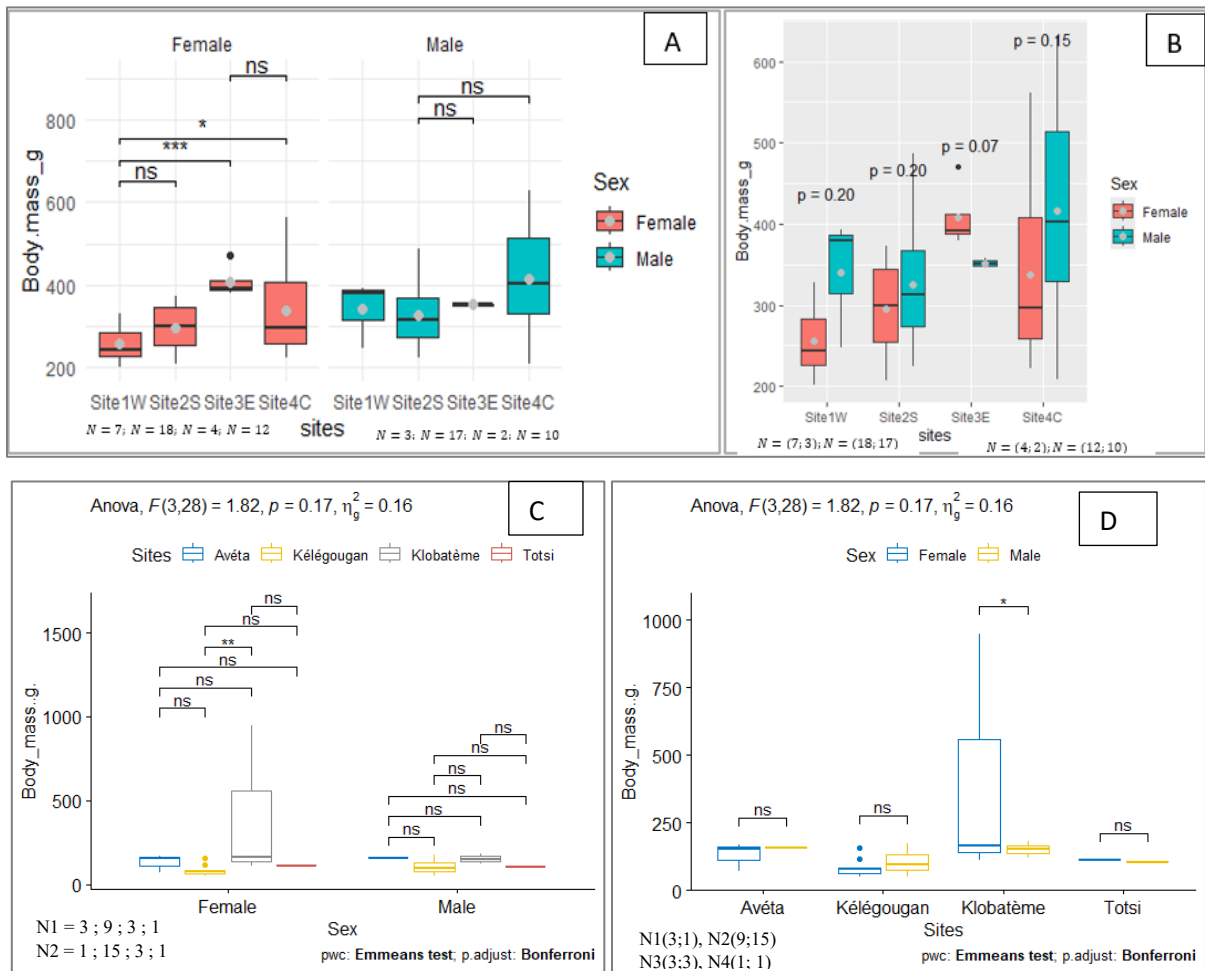
Figure 17: Richesse et diversité spécifique des rongeurs entre milieux urbains et périurbains

(q = 0 : richesse spécifique ; q = 1 : indice de Shannon ; q = 2 : indice de Simpson)

### Caractères morphologiques

Les mesures morphométriques ont mis en évidence une variabilité intra- et inter-populations.

- À **Strasbourg**, les femelles du site du Campement présentent une masse significativement supérieure à celles de La Wantzenau et de la Semencerie ( $p < 0,05$ ), tandis que les mâles ne montrent pas de différence significative entre sites (Figure 18A-B).
- À **Lomé**, aucune différence significative de masse corporelle n'a été observée selon le site ou le sexe (ANOVA,  $p > 0,05$ ), bien que des variations locales soient notables (Figure 18C-D) : les femelles capturées à Klobatème sont plus lourdes que celles de Kélégougan ( $p < 0,01$ ). Les comparaisons inter-villes ont révélées des différences nettes : les mâles de Strasbourg sont significativement plus lourds et plus longs que ceux de Lomé ( $p < 0,05$ ), tandis qu'aucune différence n'est détectée chez les femelles (Figure 18E-F).



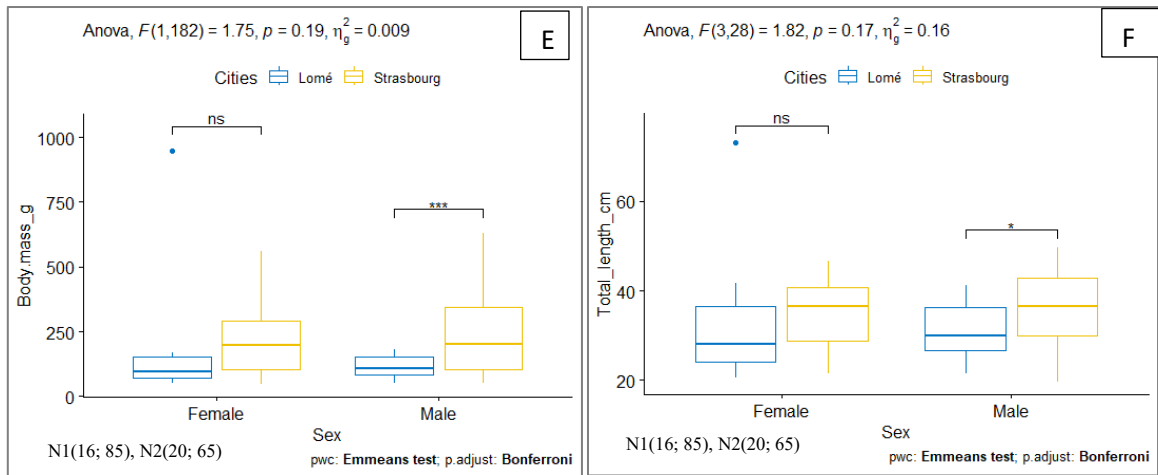


Figure 18: Effet du site, du sexe et de la ville sur la masse corporelle des rongeurs (A&B : Strasbourg ; C&D : Lomé ; E&F : masse et taille entre villes)

Une régression multiple confirme la relation positive entre la masse et la longueur totale, modulée par le type d'habitat, indiquant une influence combinée des conditions locales et des ressources disponibles sur la morphologie corporelle (Figure 19).

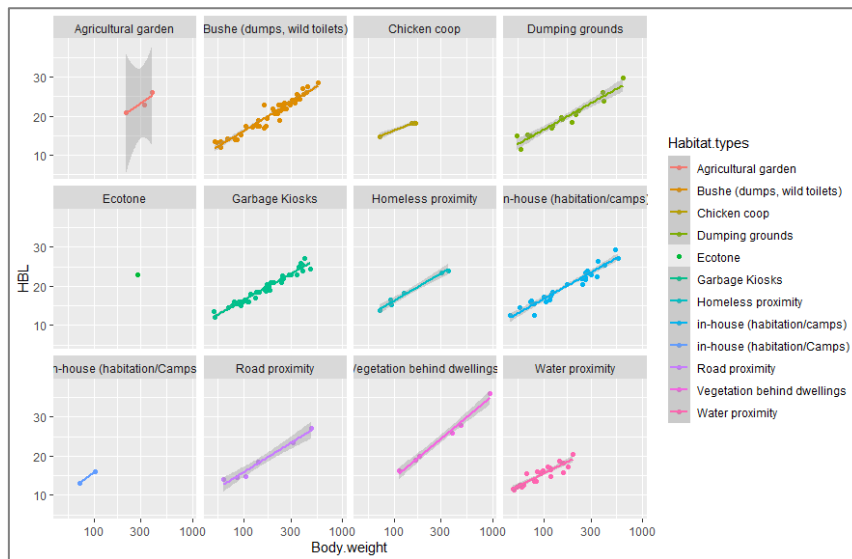


Figure 19: Effet conjoint de la masse corporelle et de l'habitat sur la taille des rongeurs

### Facteurs écologiques, climatiques et anthropiques

Les modèles linéaires mixtes (GLMM) ont mis en évidence des effets distincts selon la ville étudiée.

#### À Strasbourg (Figure 20A)

L'analyse montre une variabilité intra-urbaine modérée ( $ICC = 0,008$ ), mais significative du point de vue de la structuration spatiale. Le type d'habitat ressort comme principal facteur explicatif de l'abondance relative de *R. norvegicus* ( $Df = 9 ; F = 3,45 ; p = 0,001$ ). Les densités

les plus élevées sont observées dans les habitats dégradés et les zones fortement anthropisées, tandis que la proximité immédiate des plans d'eau est associée à des abondances plus faibles. Les variations saisonnières exercent également un effet additif significatif, avec une augmentation notable entre l'hiver et le printemps. La pluviométrie cumulée précédant la période de capture est négativement corrélée à l'abondance, probablement en raison d'une baisse de l'efficacité du piégeage lors d'épisodes de précipitations intenses. La température, en revanche, n'a pas montré d'effet significatif.

### À Lomé (Figure 20B)

La différence d'abondance relative entre milieux urbains et périurbains est nette (ICC = 0,60). Le modèle le plus parcimonieux identifie la saison comme principal facteur explicatif (Df = 1 ;  $F = 13,98$  ;  $p = 0,0022$ ), avec une diminution significative en saison sèche. Le type d'habitat a également un effet additif important (Df = 5 ;  $F = 4,38$  ;  $p = 0,013$ ), l'abondance étant plus élevée près des points d'eau et des habitations, et plus faible dans les poulaillers. La pluviométrie exerce un effet négatif (augmentation des précipitations associée à une baisse de l'abondance relative), tandis que la température n'a pas d'effet significatif.

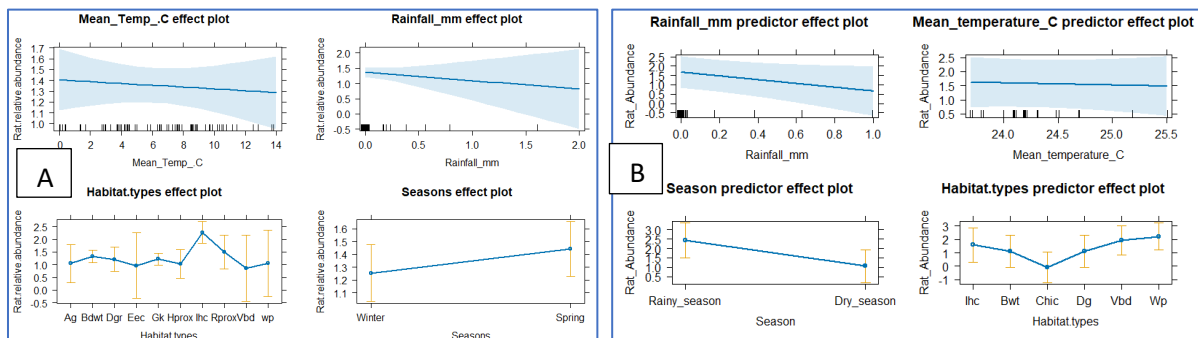


Figure 20: Effets des variables environnementales, climatiques et saisonnières sur l'abondance relative des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé)

(Ag: agricultural garden, Bdwt: bushes with dumps and wild toilets, Dgr: dumping ground, Eec: ecotone, Gk: garbage kiosks, Hprox: homeless proximity, Ihc: in-house and camp, Rprox: roads proximity, Vbd: vegetation behind dwellings, wp: water proximity, chc: Chicken coop)

### Reproduction et maturation

À Strasbourg, la proportion de femelles gestantes est négativement influencée par la température ( $p < 0,01$ ), indiquant que la reproduction est plus active durant les périodes plus fraîches (Figure 21A). La maturation sexuelle est plus rapide chez les individus capturés à proximité des habitations (Figure 22A).

À Lomé, aucun effet significatif n'a été observé sur la proportion de femelles gestantes (Figure 21B), mais la maturation s'avère plus rapide près des habitations et des points d'eau. La

proportion d'individus matures diminue en saison sèche (Figure 22B). Ces observations suggèrent que les facteurs climatiques et saisonniers influencent la dynamique reproductive de manière différenciée selon le contexte écologique.

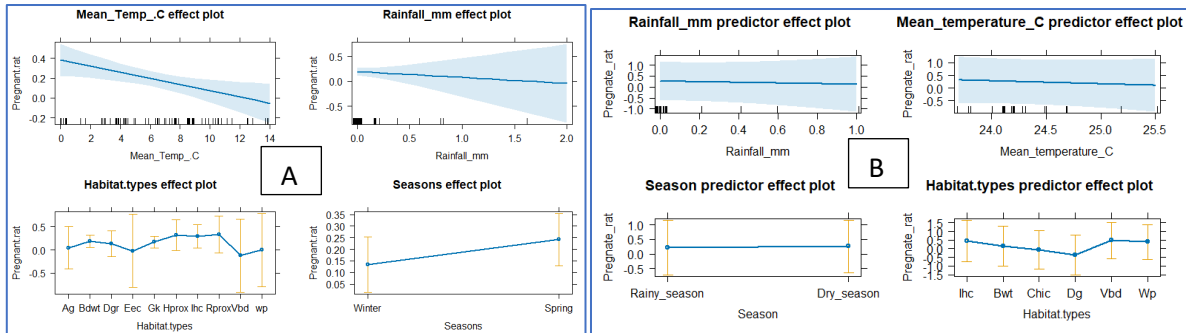


Figure 21: Effets des variables environnementales, climatiques et saisonnières sur la reproduction des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé)

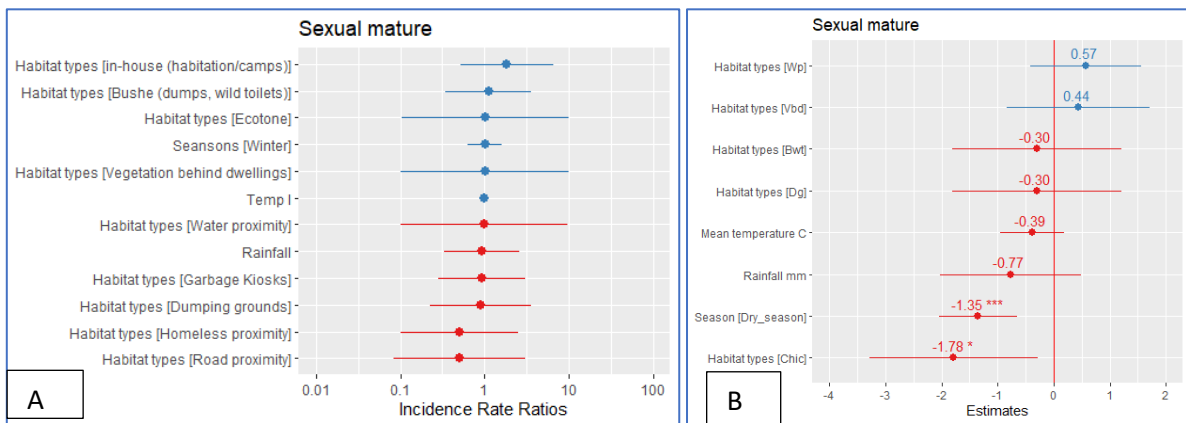


Figure 22: Effets des variables environnementales, climatiques et saisonnières sur la maturation des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé)

### Influence de la densité humaine et des ressources

Les modèles de régression linéaire multiple ont mis en évidence des relations contrastées entre densité humaine et abondance des rongeurs.

- À Strasbourg, l'abondance relative des rats demeure globalement stable jusqu'à une densité de 4 000 habitants/km<sup>2</sup>, puis augmente au-delà de 6 000 habitants/km<sup>2</sup> (Figure 23A). La corrélation positive observée ( $r = 0,48$  ; IC 95 % :  $-0,69$  à  $0,95$ ) n'est toutefois pas statistiquement significative ( $p = 0,41$ ).
- À Lomé, l'abondance relative est plus élevée en dessous de 8 000 habitants/km<sup>2</sup>, puis tend à diminuer au-delà d'un seuil d'environ 10 000 habitants/km<sup>2</sup> (Figure 23B). Une corrélation négative significative est observée ( $r = -0,89$  ;  $p = 0,002$  ;  $n = 5$  ;  $R^2$ Nagelkerke =  $0,865$ ).

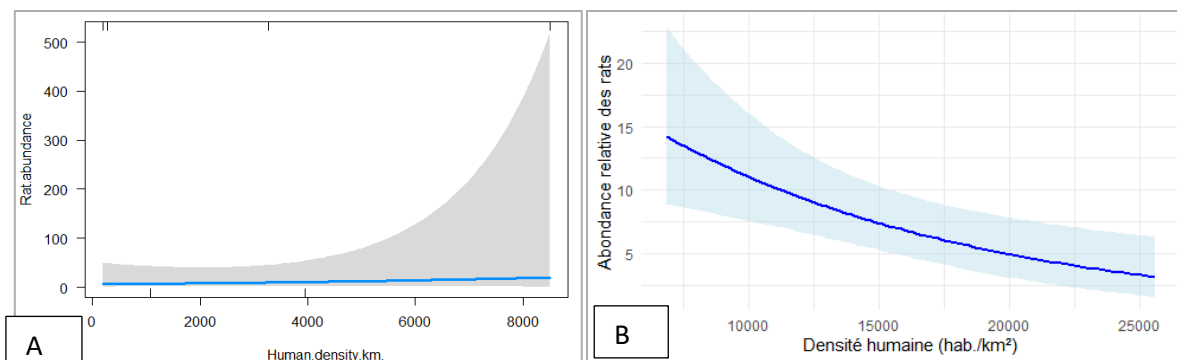


Figure 23: Influence de la densité humaine sur la prolifération des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé)

Les modèles de régression linéaire multiple indiquent en outre une association forte entre l'abondance et certaines ressources locales :

- à Strasbourg, une corrélation positive avec la présence de kiosques à poubelles urbains (Figure 24A),
- à Lomé, une relation significative avec la présence des points d'eau urbains (Figure 24B).

Ces observations suggèrent le rôle déterminant des ressources alimentaires et des micro-habitats hydriques dans la structuration des populations.

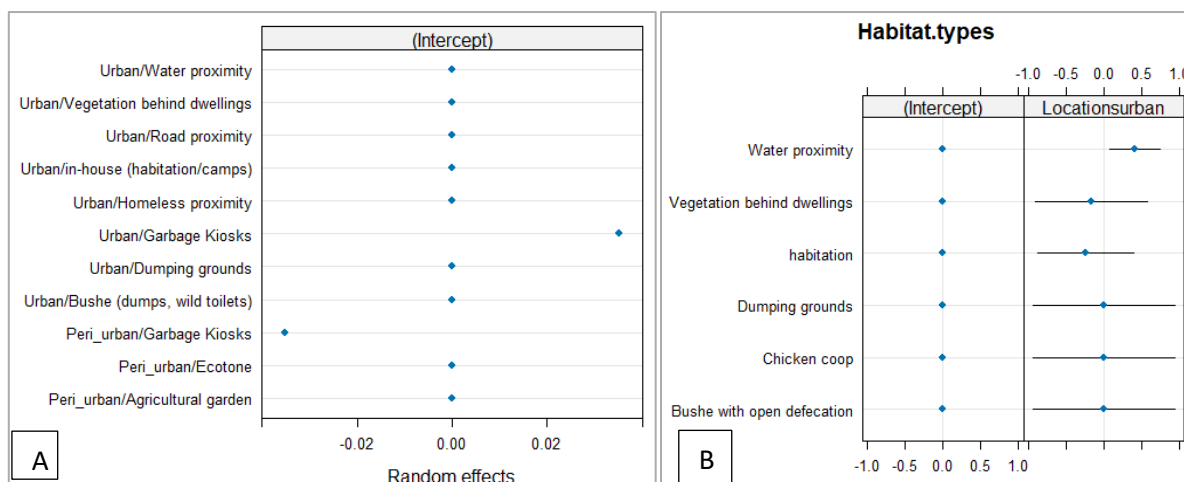


Figure 24: Influence des ressources anthropiques et environnementales sur la prolifération des rongeurs (A : Strasbourg ; B : Lomé)

### Diversité et charge parasitaire des ectoparasites

L'examen des 186 individus capturés a permis d'identifier une diversité limitée de 242 ectoparasites, dominée par trois groupes taxonomiques principaux (Photo 12) :

- les puces 86,7% (n = 210),
- les tiques du genre *Ixodes* 9,9% (n = 24)

- les tiques du genre *Haemaphysalis* 3,3% (n = 8)

La distribution des ectoparasites diffère significativement entre ces groupes (test de Kruskal–Wallis :  $p = 0,0026$ ), les puces représentant la majorité des prélèvements (210). Cependant, l'abondance moyenne des ectoparasites ne diffère pas significativement entre Lomé et Strasbourg (Strasbourg : 209 ectoparasites sur 150 *R. norvegicus* examinés, Lomé : 33 ectoparasites sur 36 rongeurs examinés).

Les tendances observées (Figure 25) indiquent :

- une abondance légèrement plus élevée de puces à Strasbourg ( $p = 0,24$ ),
- une présence plus marquée de tiques du genre *Ixodes* à Lomé ( $p = 0,21$ ), et
- des tiques du genre *Haemaphysalis* légèrement plus élevée à Strasbourg ( $p = 0,68$ ).

Aucune différence significative n'a été relevée entre milieux urbains et périurbains, bien qu'une tendance générale à une charge parasitaire légèrement plus forte en milieu urbain soit observée dans les deux villes (Figure 26A-B).

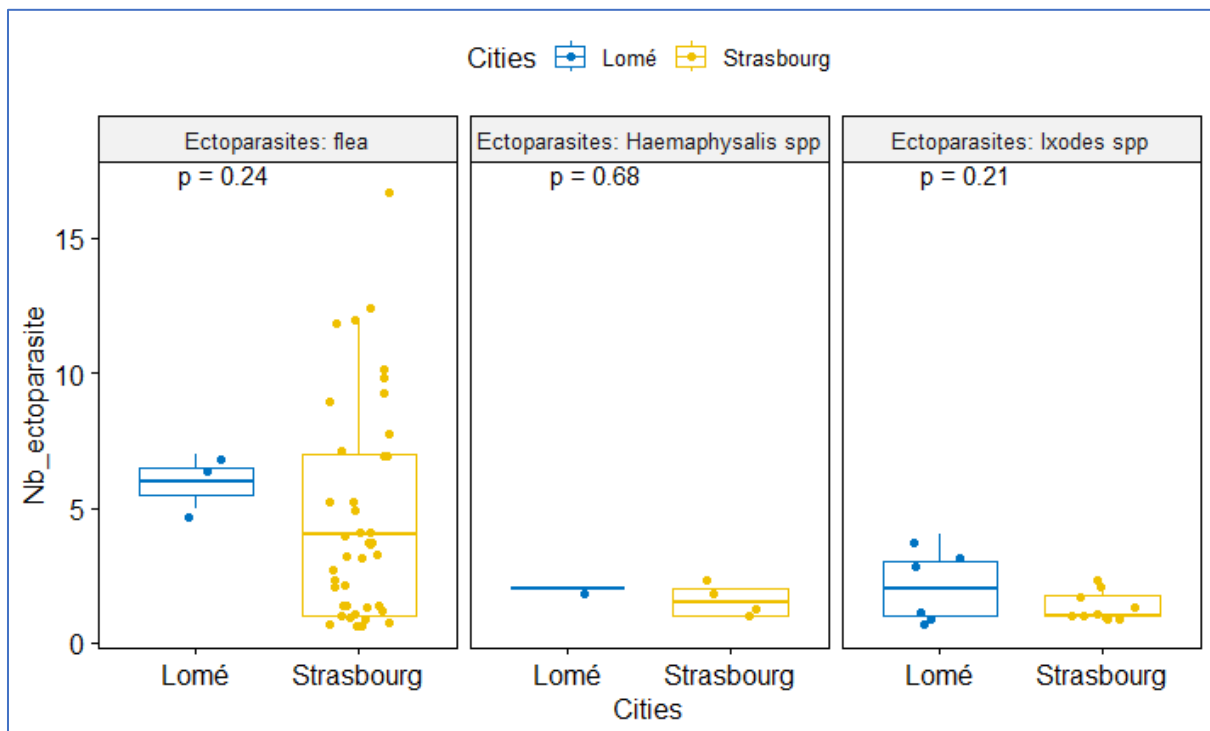


Figure 25: Abondance des ectoparasites (entre villes)

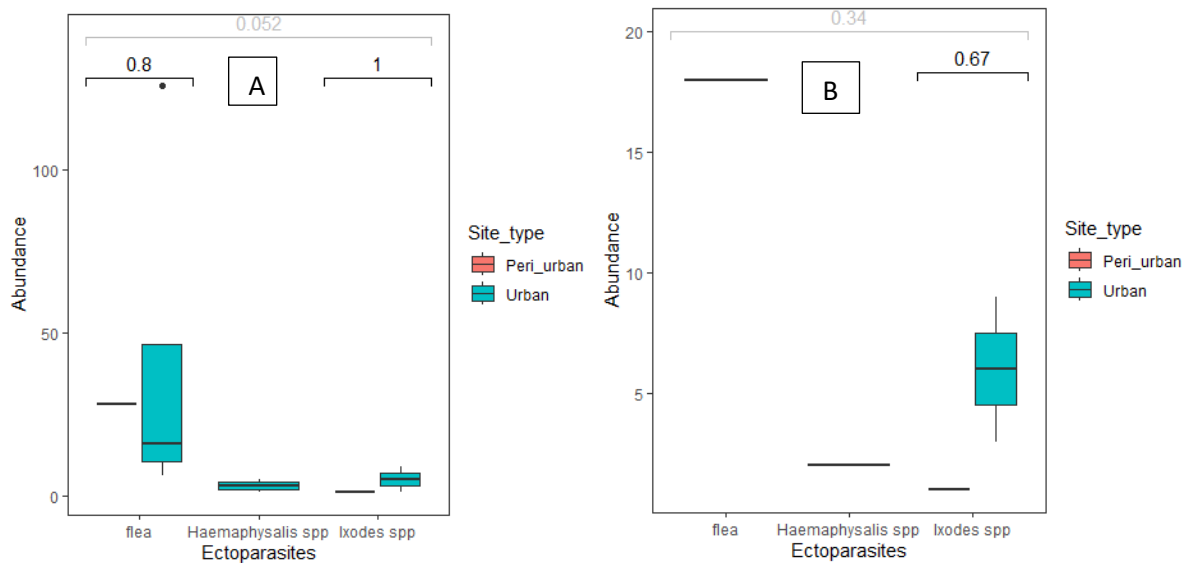


Figure 26: Abondance des ectoparasites entre milieux urbains et périurbains (A : Strasbourg ; B : Lomé)

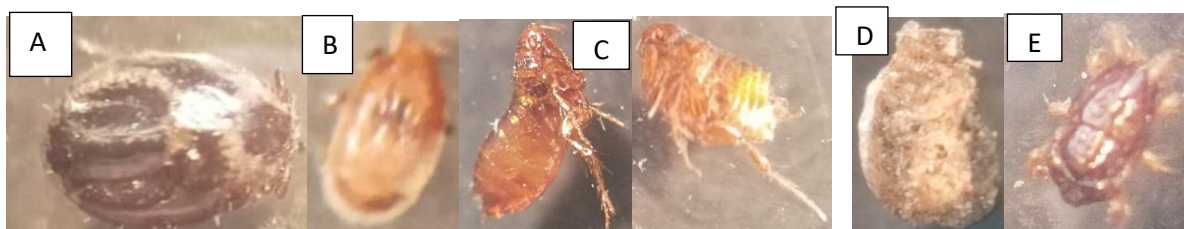


Photo 12 : Ectoparasites détectés

A : *Haemaphysalis* spp ; B: *Ixodes* spp.; C : puce (Flea) ; D : poux ; E : acarien

(D et E) très minoritaire, exclus de l'analyse) (Photos personnelles)

## Discussion

Cette étude comparative menée à Lomé (Togo) et dans l'Eurométropole de Strasbourg (France) visait à analyser la dynamique écologique et démographique des populations de rats en milieux urbains contrastés, ainsi que la diversité de leurs ectoparasites.

Les campagnes de terrain ont permis la capture de 186 individus pour un effort cumulé de 12429 nuits-pièges.

### Distribution spatiale et sélection d'habitat

Nos résultats montrent une forte préférence des rongeurs pour les milieux urbains, avec plus de 85 % des captures réalisées dans ces contextes, confirmant l'hypothèse d'une relation positive entre urbanisation et abondance des rats. Ce constat rejoint les observations faites à Vancouver (Himsworth *et al.*, 2014) et Salvador de Bahia (Costa *et al.*, 2018), où la densité des déchets et la connectivité des infrastructures expliquaient la présence dominante de *R. norvegicus* en milieux urbains. À Strasbourg, *R. norvegicus* représentait la quasi-totalité des captures. À

l'inverse, à Lomé, la communauté de rongeurs était plus diversifiée (cinq espèces détectées), traduisant une occupation partagée entre *Rattus* spp., des muridés autochtones tels que *Arvicanthis niloticus* et *Mastomys natalensis* et des cricétidés tel que *Cricetomys gambianus*. Les analyses écologiques des rongeurs montrent un contraste marqué entre les deux métropoles. Dans la métropole européenne de Strasbourg, la quasi-monospécificité de *R. norvegicus* illustre sa grande plasticité écologique et sa capacité à coloniser efficacement l'environnement urbain de cette ville. Cette espèce ubiquiste tolère une large gamme de conditions thermiques et alimentaires (Stenseth *et al.*, 2003) et présente des comportements territoriaux lui permettant de maintenir des densités élevées malgré les campagnes de dératisation. À l'inverse, dans le contexte tropical de Lomé, la coexistence de plusieurs espèces de rongeurs (cinq espèces détectées) traduit une dynamique plus complexe. *R. rattus* et *R. norvegicus* y partagent l'espace avec plusieurs muridés autochtones, notamment *A. niloticus* et *M. natalensis*. Cette cohabitation reflète la diversité des micro-habitats urbains et la variabilité des pressions anthropiques, mais également une compétition interspécifique potentiellement forte pour l'accès aux ressources. Les résultats obtenus par l'analyse canonique des correspondances (CCA) confirment ces tendances : *R. rattus* est positivement corrélé à la température et à la pluviométrie, tandis que *R. norvegicus* occupe une position intermédiaire, reflétant une tolérance plus large aux gradients environnementaux.

L'analyse ROC a aussi confirmé ces tendances : *R. norvegicus* présentait une distribution aléatoire, alors que *R. rattus* montrait une sélectivité forte, associée aux zones à forte humidité et températures élevées. Ce résultat est cohérent avec les observations de Blasdell *et al.* (2022), qui rapportaient des préférences micro-habitat spécifiques chez *R. rattus* en Asie du Sud-Est.

Sur le plan démographique, l'analyse de la structure démographique des rongeurs capturés a montré que la structure était dominée par les adultes, traduisant une population stable et bien implantée, comme observé également à Mexico (Panti-May *et al.*, 2016). La proportion de juvéniles relativement faible suggère une pression de mortalité ou de contrôle plus élevée dans les sites étudiés, en particulier à Strasbourg où les programmes de dératisation sont fréquents.

Sur le plan morphologique, les mâles de Strasbourg présentaient une masse et une longueur significativement plus élevées que ceux de Lomé. Ces différences de masse corporelle observées entre villes, significatives chez les mâles ( $p < 0,05$ ), traduisent probablement des différences de régime alimentaire, de compétition et de structure de population. Les rats de Strasbourg bénéficient vraisemblablement d'une disponibilité alimentaire plus régulière, liée à la collecte centralisée des déchets, tandis que ceux de Lomé évoluent dans des conditions plus fluctuantes, soumises aux aléas climatiques et à une gestion des ressources plus dispersée. Ces

différences corroborent les observations de Himsworth *et al.* (2013), selon lesquelles la disponibilité alimentaire influence directement la masse corporelle et la reproduction des populations de rats urbains.

Sur le plan d'abondance des rongeurs capturés, les modèles statistiques mettent en évidence le rôle déterminant du type d'habitat, des conditions climatiques, saisonniers et de la densité humaine dans la structuration de ces communautés selon le contexte géographique. L'abondance relative est significativement plus élevée dans les zones urbaines, où la concentration de déchets, la proximité des habitations et la disponibilité de refuges favorisent la persistance des populations. À Strasbourg, l'abondance était positivement associée à la présence de kiosques à poubelles en milieux urbains, tandis qu'à Lomé, elle était corrélée à des points d'eaux urbains. La distribution spatiale observée souligne par ailleurs l'importance du tissu urbain dans la structuration des populations. Les zones fortement imperméabilisées et densément bâties présentent une moindre abondance apparente, non pas en raison d'une absence réelle, mais en lien avec la difficulté d'accès aux abris pour les pièges et la nature souterraine des habitats (réseaux d'égouts, fondations). À l'inverse, les zones résidentielles denses ou les abords des marchés, des routes, parcs et campements constituent des foyers privilégiés. Ces résultats confirment l'importance des infrastructures anthropiques dans la structuration des populations, comme déjà démontré à Dakar pour *R. rattus* (Ibrahim Danzabarma *et al.*, 2025).

La densité humaine a exercé des effets contrastés selon le site : positive à Strasbourg, mais négative à Lomé au-delà de 10 000 hab./km<sup>2</sup>. Cette divergence pourrait s'expliquer par la saturation des ressources et la concurrence accrue dans les quartiers denses de Lomé, tandis qu'à l'EMS, les dispositifs de gestion centralisée des déchets assurent une ressource constante même dans les zones à forte densité humaine.

Les facteurs climatiques ont également joué un rôle : à Lomé, la saison sèche réduisait significativement l'abondance et la proportion d'individus matures, traduisant une dépendance aux conditions hydriques. À Strasbourg, l'abondance diminuait en période de fortes précipitations, possiblement en lien avec des inondations d'égouts et de terriers. Ces résultats concordent avec les études de Panti-May *et al.* (2016) au Mexique, où les fluctuations saisonnières modulaient la structure d'âge et la reproduction des populations de *Rattus rattus*. Enfin l'étude des ectoparasites chez les rongeurs capturés a révélé une diversité relativement limitée, dominée par les puces et tiques, ce qui rejoint les observations faites à Paris (Buffet *et al.*, 2006) et au Sénégal (Ibrahim Danzabarma *et al.*, 2025). Bien que la différence entre Lomé et Strasbourg n'ait pas été significative, des tendances se dégagent : abondance légèrement plus

élevée de puces chez *Rattus norvegicus* de Strasbourg, tiques plus fréquentes sur les rongeurs de Lomé. Cette faible charge parasitaire peut résulter de biais méthodologiques (collecte uniquement externe, saison de capture) mais aussi de pressions écologiques. En particulier, la densité d'hôtes observée à Strasbourg aurait pu favoriser une plus grande transmission, mais les programmes réguliers de lutte parasitaire et l'assainissement pourraient limiter cette propagation. Inversement, à Lomé, la variabilité saisonnière pourrait réduire la survie des stades libres d'ectoparasites. Ces résultats contrastent notre hypothèse de variation de la composition parasitaire selon le contexte écologique.

### **Comparaison des deux contextes**

En résumé, l'analyse comparative de l'écologie urbaine des rats à Lomé et à l'Eurométropole de Strasbourg met en lumière deux systèmes contrastés :

- À Strasbourg, une population quasi monospécifique de *R. norvegicus*, en forte densité, exploitant efficacement les ressources issues des infrastructures urbaines.
- À Lomé, une communauté plus diversifiée, incluant plusieurs espèces de muridés, mais avec une abondance plus faible et une forte influence des facteurs climatiques et de la densité humaine.

Ces différences illustrent la plasticité écologique de *R. norvegicus* et la niche plus restreinte de *R. rattus* qui sont les deux espèces dominantes en milieux urbains. Elles soulignent également que les pressions anthropiques (gestion des déchets, contrôle des populations, aménagements) façonnent différemment les dynamiques selon le contexte socio-environnemental.

### **Validation des hypothèses**

L'ensemble de ces résultats obtenus permettent de discuter la validité des quatre hypothèses formulées en introduction :

- H1 Influence des ressources et des abris sur l'abondance : *Confirmée*. Dans les deux villes, l'abondance des rats est positivement associée à la disponibilité en ressources alimentaires et abris, tels que les kiosques à poubelles à Strasbourg et les points d'eau à Lomé. Ces observations confirment que les ressources anthropiques et les structures urbaines constituent des déterminants majeurs de la distribution des populations.
- H2 Corrélation entre densité humaine et abondance : *Partiellement confirmée*. À Strasbourg, la densité humaine influence positivement l'abondance au-delà d'un seuil de 6 000 habitants/km<sup>2</sup>, bien que la relation ne soit pas significative ( $p = 0,41$ ). À Lomé, une corrélation négative significative est observée ( $r = -0,89$  ;  $p = 0,002$ ), traduisant un effet de saturation des ressources et de perturbation accrue dans les quartiers les plus densément peuplés.

- H3 Variation de la composition parasitaire selon le contexte écologique : *Non confirmée*. Bien que certaines tendances aient été observées (puces plus abondantes à Strasbourg, tiques plus fréquentes à Lomé), aucune différence significative n'a été détectée. Cette absence de différenciation peut résulter de la faible diversité parasitaire globale et du caractère limité des périodes d'échantillonnage.
- H4 Différences morphologiques entre populations : *Confirmée*. Les différences de masse et de longueur corporelles observées entre mâles de Strasbourg et de Lomé ( $p < 0,05$ ) témoignent d'une influence des conditions écologiques locales, notamment de la disponibilité alimentaire et des pressions environnementales.

### **Limites et contraintes méthodologiques**

Bien que ces résultats recèlent d'ample information sur l'écologie urbaine des rats et de leurs ectoparasites des deux villes, deux limites doivent être soulignées :

1. L'effort d'échantillonnage, bien que conséquent, reste inégal entre sites et villes et a pu limiter la puissance statistique de certaines comparaisons.
2. L'analyse des ectoparasites, restreinte aux formes externes et aux saisons d'échantillonnage, ne reflète pas nécessairement toute la diversité parasitaire.

Malgré ces limites, nos résultats confirment que les rats constituent des sentinelles écologiques et sanitaires pertinentes pour évaluer les interactions entre facteurs environnementaux, ressources anthropiques et dynamiques parasitaires. Sur le plan appliqué, ces résultats suggèrent que la lutte contre les rats urbains doit être adaptée au contexte local :

- à Strasbourg, renforcer la gestion des déchets et cibler les populations de *R. norvegicus*;
- à Lomé, améliorer l'accès à l'eau potable et limiter les zones favorables aux gîtes de reproduction, tout en tenant compte de la diversité des espèces présentes.

### **Conclusion et perspectives**

Cette étude a permis d'analyser la dynamique écologique des populations de rats et de leurs ectoparasites en milieux urbains, en comparant deux contextes contrastés : Lomé (Afrique de l'Ouest) et Strasbourg (Europe occidentale). Nos résultats montrent que les rats exploitent préférentiellement les environnements urbains, où la disponibilité en ressources et la densité humaine favorisent leur implantation. *Rattus norvegicus* domine largement à Strasbourg, confirmant son caractère ubiquiste et sa plasticité écologique, tandis qu'à Lomé, la communauté est plus diversifiée avec la présence d'espèces autochtones comme *Arvicanthis niloticus*, *Mastomys natalensis* et *Cricetomys gambianus*. La dynamique des populations s'est révélée

modulée à la fois par les facteurs environnementaux (température, précipitations, végétation et hydrique) et anthropiques (gestion des déchets, proximité des habitations, densité humaine). Les différences morphologiques observées, en particulier chez les mâles, traduisent une variabilité des conditions écologiques et des pressions locales. Les ectoparasites recensés, bien que peu diversifiés, confirment que les rats représentent des hôtes potentiels de parasites et pathogènes à importance sanitaire, avec des tendances spécifiques selon les contextes climatiques et urbains. Au-delà des différences locales, cette étude met en évidence la nécessité d'aborder l'écologie des rats en milieu urbain de manière intégrée, en tenant compte des interactions entre facteurs écologiques, anthropiques et sanitaires. Les résultats obtenus soulignent l'importance d'une gestion différenciée selon les contextes : contrôle ciblé et gestion des déchets à Strasbourg, amélioration de l'assainissement et réduction des sites favorables à Lomé. Enfin, ces travaux ouvrent des perspectives pour des approches interdisciplinaires associant écologie, épidémiologie et sciences sociales, afin de mieux anticiper les risques sanitaires liés aux populations de rats et à leurs parasites dans les environnements urbains.

Références : voir bibliographie de la thèse

## **Chapitre 7: Interactions hôte–pathogène–environnement : cas des rats urbains de Lomé et de l’Eurométropole de Strasbourg**

### **7.1 Introduction**

Les rats occupent une position centrale dans l’épidémiologie des zoonoses du fait de leur rôle de réservoirs pour une large diversité d’agents pathogènes — virus, bactéries, champignons, helminthes et protozoaires — et de leur proximité écologique avec l’humain (Han *et al.*, 2015 ; Jessica L. Abbate *et al.*, 2024). Leur écologie synanthropique, caractérisée par l’occupation préférentielle des habitats et des infrastructures urbaines (bâtiments, réseaux d’égouts, friches, zones végétalisées), les place à l’interface entre environnements naturels, domestiques et strictement urbains (Meerburg *et al.*, 2009 ; Himsworth *et al.*, 2013). Les comportements sociaux, l’organisation spatiale des colonies et l’usage sélectif des micro-habitats déterminent ainsi la fréquence et la nature des contacts, et par conséquent la circulation et la transmission des agents infectieux au sein des populations et à l’interface homme–animal.

Malgré l’importance reconnue de la prévention des zoonoses à l’échelle mondiale, les mécanismes d’émergence et de persistance des agents pathogènes restent imparfaitement compris, ce qui limite l’efficacité des stratégies de surveillance et de contrôle. Les rats urbains constituent, à ce titre, un modèle d’étude privilégié pour explorer les interactions hôte–pathogène–environnement dans une perspective intégrative, inspirée de l’« écologie des communautés » et du cadre One Health.

Dans la continuité du Chapitre 6, consacré à l’écologie et à la dynamique des populations, le présent chapitre vise à identifier les pathogènes naturellement hébergés par les populations de rats étudiées à Lomé et à Strasbourg, à caractériser les facteurs d’occurrence d’origine écologique, comportementale et environnementale, et à analyser la structure des interactions hôte–pathogène. L’objectif est de mieux comprendre les processus d’émergence et de maintien des zoonoses dans des contextes urbains contrastés et d’apporter des éléments opérationnels à une gestion intégrée du risque sanitaire.

Les travaux réalisés dans ce contexte ont fait objet d’un article (article 3) en cours de soumission au journal One Health dont le texte intégral est présenté ci-dessous

## 7.2 Article 3

### **Titre : Interactions hôte–pathogène–environnement : cas des rats urbains de Lomé et de l’Eurométropole de Strasbourg**

**To be submit to** One Health Journal

#### **Résumé**

Cette étude a examiné comment des contextes écologiques et socio-environnementaux distincts façonnent les interactions hôte–pathogène–environnement chez les rongeurs urbains, dans le cadre de l’approche *One Health*. Deux systèmes contrastés ont été étudiés : Strasbourg (France), milieu tempéré et monospécifique dominé par *Rattus norvegicus*, et Lomé (Togo), milieu tropical à communauté multi-hôte comprenant cinq espèces. Au total, 186 individus ont été analysés par des approches moléculaires, bactériologiques et parasitologiques. À Strasbourg, les pathogènes zoonotiques (*HEV-C1*, *Toxoplasma gondii*, *Leptospira interrogans*, *Borrelia spp.*) présentaient une diffusion homogène, et leur diversité augmentait avec l’âge des individus, indiquant une exposition cumulative dans un environnement stable. À Lomé, la diversité des hôtes et des habitats a généré une hétérogénéité spatiale et interspécifique marquée, avec des co-infections fréquentes et des dynamiques épidémiques ponctuelles influencées par les conditions climatiques et urbaines. Ces résultats montrent que la composition des communautés d’hôtes, la structure du paysage urbain et les pressions environnementales locales déterminent conjointement la diversité, la distribution et la dynamique des agents zoonotiques. Ils soulignent la nécessité d’intégrer les dimensions écologiques et socio-environnementales dans la surveillance et la gestion des risques infectieux en milieu urbain.

**Mots-clés** : zoonoses urbaines, rongeurs, écologie des maladies, hôte–pathogène–environnement, *One Health*, Lomé, Strasbourg.

#### **Introduction**

Les maladies infectieuses émergentes représentent une menace croissante pour la santé humaine et animale à l’échelle mondiale. On estime que plus de 60 % des maladies émergentes sont d’origine zoonotique et que près de 75 % proviennent de réservoirs animaux, principalement les mammifères (Jones *et al.*, 2008 ; Allen *et al.*, 2017). Ces émergences sont largement

favorisées par les pressions anthropiques, telles que l'urbanisation rapide, l'intensification agricole et les changements climatiques (Daszak *et al.*, 2001 ; Patz *et al.*, 2004). Ainsi, comprendre les mécanismes qui gouvernent la circulation des agents pathogènes est devenu aujourd'hui une priorité scientifique et sanitaire.

Au cœur de cette problématique se trouvent les hôtes réservoirs, dont la biologie conditionne la persistance et la transmission des agents infectieux. Parmi eux, les rongeurs et particulièrement les rats (*Rattus norvegicus* et *Rattus rattus*) occupent une place centrale en raison de leur ubiquité, de leur proximité avec l'homme et de leur capacité à héberger une grande diversité d'agents pathogènes (Meerburg *et al.*, 2009 ; Himswoth *et al.*, 2013). Ils sont impliqués dans la transmission de bactéries (*Leptospira interrogans*, *Salmonella spp.*), de virus (hantavirus, arenavirus), de parasites (*Trypanosoma*, *Toxoplasma gondii*) et de champignons opportunistes (Kosoy *et al.*, 2015 ; Desvars-Larrive *et al.*, 2017). Leur rôle de « pont » entre environnement, faune, animaux domestiques et humains illustre l'importance d'une approche centrée sur la dynamique hôte–pathogène.

Cependant, les hôtes seuls n'expliquent pas la variabilité de ces dynamiques. Les conditions environnementales modulent fortement la survie des agents pathogènes et la densité des populations hôtes. Le climat, par ses effets sur la température, l'humidité et la pluviométrie, influence directement la persistance des agents infectieux et les cycles de reproduction des rongeurs (Stenseth *et al.*, 2003 ; Morand, 2015). En milieu urbain, des facteurs tels que la densité humaine, la gestion des déchets et la disponibilité des points d'eau créent des niches favorables aux rats et augmentent les opportunités de transmission (Parsons *et al.*, 2020). Ces observations montrent que l'interaction hôte–pathogène doit impérativement être replacée dans son contexte environnemental.

Cette articulation justifie l'usage du cadre conceptuel hôte–pathogène–environnement. La biologie de l'hôte (âge, sexe, statut physiologique, comportements sociaux) module la susceptibilité et les contacts ; les caractéristiques des pathogènes (virulence, plasticité génétique) conditionnent leur potentiel d'adaptation ; et l'environnement fournit les conditions favorables ou contraignantes à ces interactions (Mills *et al.*, 2010 ; Plowright *et al.*, 2017). C'est à l'intersection de ces trois dimensions que se joue la dynamique des zoonoses, expliquant pourquoi certaines infections persistent silencieusement tandis que d'autres émergent brutalement après une perturbation écologique.

Les environnements urbains constituent des laboratoires à ciel ouvert pour analyser ces interactions. Ils concentrent des populations humaines denses, modifient profondément les écosystèmes et favorisent la promiscuité entre humains, animaux domestiques et faune

commensale (Alberti, 2015). En Europe, des études ont montré que *R. norvegicus* domine largement les communautés urbaines, avec des transmissions favorisées par les réseaux d'égouts et la gestion des déchets (Himsworth *et al.*, 2014). En Afrique de l'Ouest, la situation est plus complexe : la coexistence des rats avec des muridés autochtones (*Arvicanthis niloticus*, *Mastomys natalensis*) crée des dynamiques multi-hôtes, modulées par une forte variabilité climatique et environnementale (WHO, 2022 ; Blasdell *et al.*, 2022). Ces contrastes montrent l'intérêt d'examiner des villes aux contextes écologiques distincts.

Dans cette étude, nous analysons la diversité et la dynamique des agents pathogènes chez les rats urbains à travers deux contextes contrastés : Strasbourg (France) et Lomé (Togo). L'objectif n'est pas de comparer directement les deux villes, mais d'identifier comment des contextes écologiques et socio-environnementaux distincts façonnent les interactions hôte–pathogène–environnement. Plus précisément, il s'agit : (i) de caractériser la diversité des agents pathogènes identifiés, (ii) d'évaluer l'influence des traits liés à l'hôte (espèce, sexe, âge, morphologie), (iii) de déterminer l'effet des facteurs environnementaux et anthropiques, et (iv) d'explorer la structuration des interactions observées. Ce travail s'inscrit ainsi dans le cadre de l'approche « One Health », en contribuant à la compréhension et à la prévention des risques zoonotiques dans les environnements urbains.

## **Matériel et méthodes**

### **Cadre d'étude**

L'étude a été conduite dans deux métropoles contrastées sur les plans écologiques, climatiques et socio-économiques (Figure 27) : Lomé, capitale du Togo située sur le littoral du golfe de Guinée, et l'Eurométropole de Strasbourg, dans la région Grand Est de la France.

Ces deux villes présentent des environnements urbains profondément différents, tant par leur climat que par leur morphologie urbaine, leur densité de population et leurs infrastructures de gestion environnementale.

Lomé, ville côtière tropicale d'Afrique de l'Ouest, se caractérise par un climat chaud et humide de type subéquatorial, avec une température moyenne annuelle avoisinant 27 °C et une pluviométrie comprise entre 800 et 1 200 mm selon les années. La ville connaît une urbanisation rapide, et souvent non planifiée. Les conditions d'hygiène, de collecte des déchets et d'assainissement y sont inégalement assurées.

À l'inverse, Strasbourg, métropole européenne tempérée, bénéficie d'un climat semi-continental marqué par des hivers froids et des étés modérément chauds, avec une température moyenne annuelle d'environ 10,5 °C et une pluviométrie moyenne de 700 mm. La ville dispose

d'un réseau d'infrastructures urbaines et d'assainissement dense et bien organisé, ainsi que d'un système de gestion des déchets structuré. La municipalité mène depuis plusieurs décennies des programmes réguliers de lutte intégrée contre les rats, coordonnés par les services d'hygiène publique. Ces deux contextes distincts offrent un cadre idéal pour explorer la diversité des interactions hôte–pathogène–environnement.

La description détaillée des sites d'échantillonnage, est présentée au chapitre 5 de cette thèse.

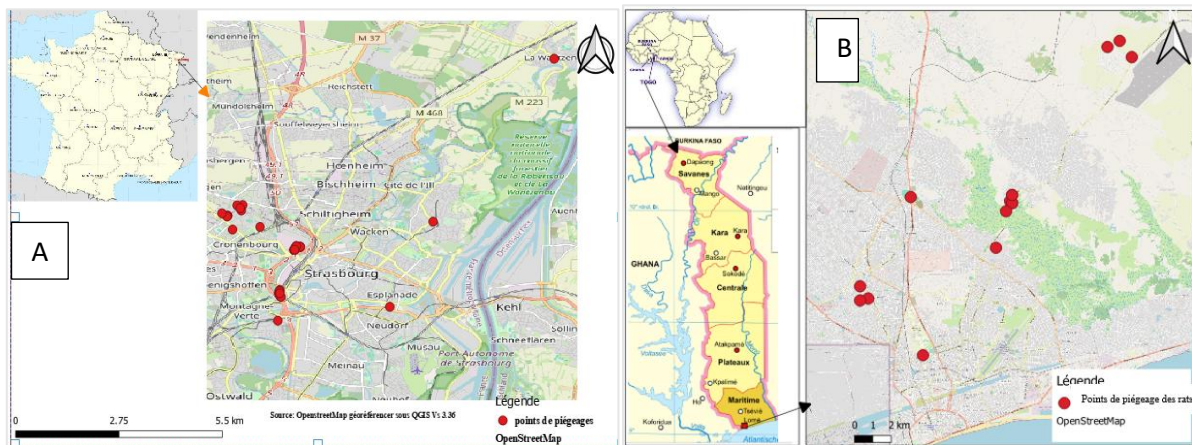


Figure 27: Sites de capture des rongeurs à l'Eurométropole de Strasbourg (A) et à Lomé (B)

### Stratégie d'échantillonnage et dispositifs de piégeage

L'échantillonnage des rongeurs a été réalisé entre janvier 2022 et octobre 2024, selon un protocole standardisé et stratifié par type d'habitat, distinguant les zones urbaines fortement anthropisées des zones périurbaines en périphérie.

À **Strasbourg**, deux campagnes ont été menées : de janvier à mai 2022 (5 mois) et de février à avril 2023 (3 mois). Au total, 150 rats ont été capturés sur sept sites (six urbains et un périurbain), répartis dans cinq quartiers représentatifs de la diversité des habitats urbains de l'agglomération.

À **Lomé**, deux campagnes ont également été conduites : de septembre à novembre 2023, puis d'août à octobre 2024. Cinq sites ont été sélectionnés (trois urbains et deux périurbains). Lors de la première phase, un piège artisanal localement conçu a été testé sans succès, puis remplacé par des pièges Hénon®, qui ont permis la capture de 36 individus au total.

L'effort global de piégeage s'élève à 12 429 nuits-piège, dont 8 944 à Strasbourg et 3 485 à Lomé. Les pièges étaient disposés le long de transects espacés d'environ 100 m, suivant les pistes d'activité des rats identifiées au moment du piégeage. Les appâts utilisés variaient selon les contextes locaux : croquettes pour chien et pâte d'arachide à Strasbourg ; pâte d'arachide et pain à Lomé.

Le suivi des pièges était réalisé selon une fréquence adaptée au contexte :

- à Strasbourg, les pièges étaient vérifiés chaque matin pendant quatre nuits consécutives ;
- à Lomé, la vérification avait eu lieu trois fois par jour (matin, midi, soir) durant cinq jours consécutifs.

Chaque capture entraînait le remplacement immédiat du piège par un dispositif identique afin de maintenir un effort de piégeage constant. Les individus capturés ont été transportés vivants au laboratoire pour les mesures et prélèvements.

### **Manipulation, identification et mesures morphologiques**

Les rongeurs capturés ont été manipulés conformément aux normes éthiques en vigueur dans chaque pays. En France, l'étude a été conduite avec l'autorisation du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (accord APAFIS #34416-2021112911335464 v7), et sous le contrôle des comités institutionnels d'éthique. Au Togo, les activités ont été menées selon les réglementations nationales relatives à la capture et à l'euthanasie des animaux.

Chaque individu a été anesthésié à l'isoflurane, puis identifié morphologiquement au niveau de l'espèce à l'aide des méthodes et de clés taxonomiques standard (Mohd-Qwahie *et al.*, 2022 ; Monadjem *et al.*, 2015). L'euthanasie a été pratiquée par dislocation cervicale, méthode recommandée pour limiter la douleur et le stress.

Les mesures morphométriques suivantes ont été relevées pour chaque individu :

- la masse corporelle (balance de précision  $\pm 0,01$  g),
- la longueur tête–corps (museau–anus, en cm),
- la longueur de la queue (en cm).

Ces mesures ont permis d'évaluer l'influence des caractéristiques de l'hôte sur la probabilité d'infection.

### **Collecte et conservation des échantillons biologiques**

Après les mesures morphologiques, des prélèvements biologiques ont été réalisés en conditions stériles : i) écouvillon oro-pharyngé et rectale pour la recherche de bactérie et virus ; ii) Sang (par ponction cardiaque) centrifugé pour séparer plasma et sérum (tests sérologiques, PCR, recherche de *Toxoplasma spp.*) ; iii) organes internes (cœur, poumons, foie, rate, reins, vessie, cerveau) pour analyses virologiques, bactériologiques et parasitologiques; iv) échantillons rectaux et intestinaux pour la recherche d'agents entériques.

Les échantillons ont été conservés à  $-20^{\circ}\text{C}$  ou  $-80^{\circ}\text{C}$  selon leur nature, puis transférés vers les laboratoires partenaires (CHU Reims, Institut Pasteur de Paris, L2A, WESTLAB24).

## Détection des agents pathogènes

Les 186 rongeurs capturés ont été analysés afin de détecter différents agents pathogènes. Plusieurs approches ont été combinées pour caractériser la diversité des agents infectieux :

### Analyses virologiques

- Détection du virus de l'hépatite E, des coronavirus et de SEOV par RT-PCR et séquençage partiel de gènes de référence.

### Analyses bactériologiques

- Recherche de *Leptospira spp.*, *Borrelia spp.*, *Salmonella spp.* et autres bactéries zoonotiques par PCR spécifique et culture.
- Examens directs : coloration de Gram (écouvillons oro-pharyngés) ; coloration au bleu de toluidine (rate) pour la recherche de *Francisella tularensis*.
- Cultures bactériennes sur gélose au sang, MacConkey et milieux sélectifs / enrichissement, incubées à 37 °C (24–48 h).

### Analyses parasitologiques

- **Examen externe (autopsies post-mortem)** : inspection macroscopique du corps pour la recherche de lésions et d'ectoparasites (cf. Chapitre 5) ;
- **Examen interne (autopsies post-mortem)** : ouverture des cavités thoracique et abdominale, recherche de lésions macroscopiques (splénomégalie, kystes, congestion pulmonaire, etc.), indicatives de parasitoses ou d'infections virales/bactériennes
- Recherche de parasites intestinaux par examen coprologique (méthode flottation/sédimentation), examen direct des fèces et intestins, frottis fécaux.
- Détection de protozoaires (*Toxoplasma gondii*) par sérologie ADHS
- Techniques complémentaires : test du ruban périanal : un ruban de type Scotch®) a été utilisé pour rechercher les œufs de *Syphacia spp.*, *Aspicularis spp.*, et autres parasites comme *Enterobius vermicularis* qui déposent des œufs autour de l'anus.

Ces analyses ont été effectuées en collaboration avec les laboratoires partenaires (Tableau 7)

Tableau 6: Agents pathogènes recherchés et laboratoires partenaires

Agents pathogènes	Organes	Methodes analyses	Laboratoire Partenaire
<i>Toxoplasma gondii</i>	Sérum-Cœur	ADHS	CHU Reims
Coronavirus (SARSCOV-Cov2, HKU24, Pan-coronavirus)	poumon	(RT)-qPCR	Institut Pasteur
SEOV	poumon	(RT)-qPCR	Institut Pasteur
<i>Leptospira spp</i>	Reins	PCR+	Institut Pasteur
Virus de l'hépatite E	Foie - écouvillon rectal	PCR + séquençage	Institut Pasteur
Virus de l'hépatite E	Foie	PCR	WESTLAB24

Streptobacillus moniliformis	foie, rein, rate	qPCR	Institut Pasteur
Borrelia burgdorferi	cœur, oreilles, vessie	qPCR	Institut Pasteur
Rickettsia typhi	Ecouvillon oropharyngé	qPCR	Institut Pasteur
Escherichia coli	Selles fraîches	culture	L2A
Listeria spp	Intestin grêle	culture	L2A
Staphylococcus aureus multi-résistant	Rate	culture	L2A
Pasteurella spp	poumon	culture	L2A
Francisella tularensis	Rate	culture	L2A
Salmonella spp	Intestin grêle	culture	L2A
Yersinia spp	Selles fraîches	culture	L2A
Klebsiella spp	Poumon	culture	L2A
Corynebacterium spp	poumon	culture	L2A
Pseudomonas spp	Écouvillon oro-pharyngé	culture	L2A

### Analyses mycologiques

Une inspection à la lumière ultraviolette (lumière de Wood) a été réalisée pour rechercher des mycoses fluorescentes (teignes). Les poils ont aussi été observés après clarification dans du bleu lactique pour rechercher d'éventuels dermatophytes kératinophiles comme *Microsporum* spp. et *Trichophyton* spp.

### Variables environnementales, climatiques et démographiques

Les coordonnées géographiques (GPS) de chaque point de capture ont été enregistrées et intégrées dans un Système d'Information Géographique (SIG) à l'aide du logiciel QGIS. Autour de chaque site, un rayon de 110 m a été défini, correspondant approximativement au domaine vital moyen de *R. rattus* (Blasdell *et al.*, 2022). Les variables environnementales considérées incluaient :

- la présence de points d'eau,
- la présence de dépotoirs ou zones de déchets,
- la densité de végétation (calculée à partir de l'indice de végétation NDVI), et
- l'occupation du sol (bâti, espaces verts, surfaces en eau).

La classification supervisée a été réalisée à partir d'images Landsat 8 OLI, traitées via le plugin SCP du logiciel QGIS (version 3.80). Les données climatiques (température et précipitations journalières) ont été obtenues auprès des services météorologiques nationaux de Lomé et de Strasbourg pour la période janvier 2022 – octobre 2024. Les données démographiques et de densité humaine ont été extraites des bases officielles d'open data des deux villes.

### Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R **4.5.1** (R Core Team, 2025) et **RStudio** (2025).

- Prévalence et diversité : calcul du nombre de cas d'infection par agent pathogène, indices de diversité de Shannon ;
- Facteurs hôtes et environnementaux : modèles linéaires généralisés (GLM) et les tests de comparaison par paire (emmeans) suivi de post-hoc Tukey HSD pour comparer l'effet des variables hôtes (sexe, âge, morphométrie) et environnementales (sites de captures, saisons) ;
- Structure des communautés pathogènes : analyses multivariées (MCA, CCA, PERMANOVA, SIMPER) pour évaluer les relations entre composition pathogène, hôtes et environnement ;
- Co-infections, circulation et co-circulation : analyse des co-occurrences par modèles de régression logistique multivariée, indices de diversité de Shannon. Test complémentaire : cor test ; Kruskal–Wallis chisquared test

Les courbes épidémiques ont été construites pour certains pathogènes afin de comprendre leur dynamique spatio-temporelle. Les tests de significativité ont été conduits au seuil de  $p < 0,05$ .

## Résultats

### Composition des communautés de rongeurs et de pathogènes

Au total, **186 individus** ont été capturés (150 à Strasbourg, 36 à Lomé). À Strasbourg, seule l'espèce *R. norvegicus* a été identifiée 100% (n =150). La communauté échantillonnée est donc monospécifique. À Lomé, cinq espèces ont été identifiées : *R. norvegicus* 13,9% (n =5), *R. rattus* 30,6% (n =11), *Arvicanthis niloticus* 38,9% (n = 14), *Mastomys natalensis* 13,9% (n = 5), et *Cricetomys gambianus* 2,8% (n =1). La communauté échantillonnée est plus diversifiée. Les captures étaient majoritairement urbaines (91 % Strasbourg ; 72 % Lomé).

### Les agents pathogènes détectés chez les rongeurs

Les analyses des 186 individus ont révélé :

À Strasbourg : le virus de l'hépatite E chez 27,78 % (génotype HEV-C1), *Leptospira interrogans* chez 6,67 %, *Toxoplasma gondii* chez 28,36 % et *Borrelia spp.* Chez 13,33% des individus testés ; aucun SARS-CoV-2 ni SEOV n'a été détecté. Les analyses bactériologiques, parasitologiques fongiques et autopsies ont mis en évidence 55 souches bactériennes, 11 parasites et plusieurs lésions pathologiques.

À Lomé, le virus de l'hépatite E chez 50% (génotype non déterminé) de la tularémie chez 2,78%, *Pasteurella spp.* chez 5,56%, 31 parasites et plusieurs lésions pathologiques.

Ces observations suggèrent que les rongeurs capturés hébergent une diversité d'agent pathogènes.

### Autopsies et lésions pathologiques

À l'EMS, l'examen de 150 *R. norvegicus* a révélé la présence de lésions pathologiques et de parasites chez 12,67 % des individus (n = 19) (Tableau 3). Les lésions internes étaient légèrement plus fréquentes que les lésions externes, sans différence significative ( $\chi^2 = 0,44$  ; ddl = 1 ; p = 0,41). Parmi les affections détectées, les infections dues au parasite *Angiostrongylus* spp. étaient prédominantes, touchant 4,67 % des individus (n = 8).

À Lomé, l'examen de 36 individus (cinq espèces) a révélé des lésions pathologiques et des parasites chez 66,67 % des individus (n = 24) (Tableau 9). Dans ce cas, les lésions internes étaient significativement plus fréquentes que les lésions externes ( $\chi^2 = 21,82$  ; ddl = 1 ; p = 0,001). Les infections hépatiques dominent (38,89 %, n = 14), avec une différence hautement significative entre types de lésions ( $\chi^2 = 35,71$  ; ddl = 9 ; p = 0,001), particulièrement marquées chez *Arvicanthis niloticus*.

Ces observations suggèrent un impact sanitaire diffus mais moins intense dans la population monospécifique (Strasbourg) et une pression pathologique élevée, spécifique d'espèces, dans le système multi-hôte (Lomé).

Tableau 7: Lésions et parasites observés chez les rongeurs urbains à Strasbourg

Nb. Examiné	Autopsie de <i>Rattus norvegicus</i> (Strasbourg)			
	Infecté	Infections/infestations	Sites de prédilections	Satut
150	Examen externe 7 (4,67%)	Teigne ( <i>Microsporum</i> spp) 1 (0,67%)	tissus cutané	zoonose
		Lésion dermatophyte : ( <i>Trichophyton</i> spp) 2 (1,33%)	tissus cutané	zoonose
		Tumeur mammaire (Retrovirus MMTV) 1 (0,67%)	Mammaire	affection animale
		<i>Staphylococcus</i> spp 1 (0,67%)	appareil génital	zoonose
		<i>Pasteurella</i> spp 1 (0,67%)	œil	Zoonose
		Gale 1 (0,67%)	oreille	Zoonose
		Puce 192	corps	Ectoparasite
	Examen interne 12(8,0%)	Tiques 17	corps	Ectoparasite
		<i>Angiostrongylus</i> spp 7 (4,67%)	Veine pulmonaire	zoonose
		<i>Capillaria</i> spp 4 (2,67%)	foie	zoonose
		<i>Strobilocercus fasciolaris</i> 1 (0,67%)	foie	zoonose

NB : Confère détaille dans l'annexe 3

Tableau 8: Lésions et parasites observés chez les rongeurs urbains à Lomé

Autopsie de cinq espèces de rongeurs urbain (Lomé)				
Nb. Examiné	Infecté	Infections/infestations	Sites de prédilections	Statut
36	Examen externe 3(8,33%)	Lésion dermatophyte ( <i>Trichophyton</i> spp) 1 (2,78%)	Tissus cutané	zoonose
		Ectromélie (poxivirus) 1 (2,78%)	Membres supérieur	zoonose
		<i>Streptococcus zooepidemicus</i> 1 (2,78%)	Cou	Zoonose
		Abcès ( <i>Staphylococcus</i> spp)	Appareils génitaux	Zoonose
		Puce 18	Corps	Ectoparasite
	Tiques 15	Corps	Ectoparasite	
	Examen interne 21(58,33%)	Kyste hydatique 1 (2,78%)	Foie	zoonose
		Echinococcose kystique 1 (2,78%)	Foie	zoonose
		(Stéatose, Fibrose, Cirrhose) 14 (38,89)	Foie	affections
		<i>Strobilocercus fasciolaris</i> 1 (2,78%)	Foie	zoonose
		<i>Capillaria</i> spp 1 (2,78%)	Foie	zoonose
		CPCV : <i>Pasteurella</i> spp 2 (5,56%)	Poumons	zoonose
		Tularémie 1 (2,78%)	Foie	zoonose

NB : Confère détaille dans l'annexe 3

### Parasitologie

À l'EMS, l'examen parasitologique de 25 *R. norvegicus* a révélé des co-infections parasitaires importantes. Onze (11) espèces parasitaires ont été détectées (Tableau 10). *Ascaris* spp. est le plus fréquent (44 %). La charge parasitaire (opg) varie de 100 (très faible) à 6 000 (très élevée). *Capillaria hepatica*, *Aspiculuris* spp., *Trichobilharzia* spp., *Syphacia* spp. et les ookystes de coccidies présentent les plus faibles incidences (4 % chacun).

À Lomé, l'examen parasitologique de 11 rongeurs a révélé des co-infections parasitaires importantes. Trente-un (31) genres parasitaires ont été détectés (Tableau 11). *Ascaris* spp. est ubiquiste (incidence 100 %). Les charges sont plus faibles (50–200 opg).

Ces observations suggèrent une intensité parasitaire élevée concentrée sur un hôte unique (Strasbourg) versus une circulation large mais plus diluée dans un système multi-hôte (Lomé).

Tableau 9: Parasites identifiés chez *Rattus norvegicus* à Strasbourg

Nb. Capturé	Nb. Examiné	Infections parasitaires	Satut
150	25	Œufs de Strongle digestif 40% (10/25)	Affection animale
		Capilaria spp 36% (9/25)	Zoonose (certains)
		Capilaria hepatica 4% (1/25)	Zoonose
		Trichosomoïdes crassicauda 28 (7/25)	acarien
		Hymenolepis nana 16% (4/25)	Zoonose
		Ascaris spp 44% (11/25)	Zoonose
		Taenia spp 8% (2/25)	Zoonose
		Aspicularis spp 4% (1/25)	Affection animale
		Trichobilharzia sp 4% (1/25)	Zoonose
		Syphacia spp 4% (1/25)	Affection animale
		Ookyste de coccidies 4% (1/25)	Affection animale

Tableau 10: Parasites identifiés chez les rongeurs à Lomé

Nb. Capturé	Nb. Examiné	Infections parasitaires	Satut
36	11	Œufs de Strongle digestif 54,54% (6/11)	Affection animale
		Capilaria spp 27,73% (3/11)	Zoonose (certains)
		Hymenolepis spp 72,72% (8/11)	Zoonose
		Syphacia spp 81,81% (9/11)	Affection animale
		Enterrobisus spp 36,36% (4/11)	Zoonose (humaine)
		Moniliformis spp 9,09% (1/11)	Zoonose (rare)
		oxyuris spp 27,73% (3/11)	Affection animale
		Strongyloïdes spp 81,81% (9/11)	Zoonose
		Nippostrongyloïdes spp 36,36% (4/11)	Affection animale
		Trichuris spp 18,18% (2/11)	Zoonose (certains)
		Cryptosporidium spp 18,18% (2/11)	Zoonose
		Aspicularis spp 81,81% (9/11)	Affection animale
		Emeiria sp 9,09% (1/11)	Affection animale
		Ostertagia spp 27,73% (3/11)	Affection animale
		Ascaris spp 100% (11/11)	Zoonose
		Trichostrongylus spp 45,45% (5/11)	Zoonose
		Monoecocestus spp 18,18% (2/11)	Affection animale
		Giardia spp 27,73% (3/11)	Zoonose
		Paragonimus spp 9,09% (1/11)	Zoonose
		Toxocara spp 72,72% (8/11)	Zoonose
Heligmosoïdes spp 9,09% (1/11)	Affection animale		

Protospirula spp 9,09% (1/11)	Affection animale
Plagiorchis spp 18,18% (2/11)	Zoonose (rare)
Trophozoite d'entamoeba spp 18,18% (2/11)	Zoonose (certains)
Douve (Brachyslaima spp) 18,18% (2/11)	Zoonose
Heterakis spp 27,73% (3/11)	Affection animale
Taenia spp 63,63% (7/11)	Zoonose
Haemonchus spp 18,18% (2/11)	Affection animale
Moniezia spp 18,18% (2/11)	Affection animale
Passalurus spp 9,09% (1/11)	Affection animale
Ookyste de coccidies 9,09% (1/11)	Affection animale
Bothriocephallus spp 9,09% (1/11)	Zoonose

### Bactériologie (EMS uniquement)

L'examen bactériologique post-mortem (bactérioscopie + culture) chez 25 individus de *Rattus norvegicus* de l'EMS a révélé une importante co-infection bactérienne. Cinqante-quatre (54) espèces bactériennes ont été détectées (Tableau 12). L'espèce bactérienne pathogénique la plus fréquente était *Yersinia enterocolitica* (44% , n= 11) ; les autres espèces présentent des prévalences moyennes faibles (4 %). Ces observations suggèrent l'existence d'une richesse bactérienne élevée dans une communauté monospécifique dense.

Tableau 11: Bactéries identifiées chez *Rattus norvegicus* à Strasbourg

Nb. Examiné	Examen bactériologique post-mortem de <i>Rattus norvegicus</i> (Strasbourg)	
	Infections	Statut
	Acinobacter baumannii 4% (1/25)	Zoonose émergent
	Aeromonas hydrophila 4% (1/25)	Zoonose
	Aerococcus urinae 20% (5/25)	Opportuniste humain rare
	Aerococcus viridans 8% (2/25)	Affection animale
	Aerococcus viridans 1 8% (2/25)	Affection animale
	Aerococcus viridans 2 36% (9/25)	Affection animale
	Aerococcus viridans 3 4% (1/25)	Affection animale
	Alloiococcus otitidis 4% (1/25)	Humain
	Arcanobacterium spp 8% (2/25)	Zoonose
	Arthrobacter spp 4% (1/25)	Non pathogène (environnementale)
	Bacilles Gram- 72% (18/25)	Flore pathogène
	Brevibacterium spp 4% (1/25)	Opportuniste rare
	Brevundimonas vesicularis 4% (1/25)	Opportuniste rare
	Burkholderia cepacia 8% (2/25)	Opportuniste
	Cellulomonas spp 8% (2/25)	Non pathogène (Bactérie environnementale)
	Cocci Gram+ 64% (16/25)	Flore peu pathogène

Coccobacilles Gram+ 12%(3/25)	Flore peu pathogène
E. coli 12%(3/25)	Zoonose (certaines souches)
Gemella haemolysans 16% (4/25)	Opportuniste humain
Gemella morbillorum 8% (2/25)	Opportuniste humain
Globicatella sanguini 4% (1/25)	Opportuniste humain
Granulicatella adiacens 4% (1/25)	Opportuniste humain
Klebsiella oxytoca 4% (1/25)	Zoonose
Lactococcus lactis spp 4% (1/25)	Commensale
Leuconostoc spp 4% (1/25)	Opportuniste alimentaire
Listeria grayi 4% (1/25)	Non pathogène
Listeria innocua 4% (1/25)	Non pathogène
Listeria monocytogenes 8% (2/25)	Zoonose
Listeria seeligeri 4% (1/25)	Non pathogène
Mannheimia haemolytica 8% (2/25)	Affection animale
Moraxella spp 4% (1/25)	Affection animale
Pasteurella multocida 8% (2/25)	Zoonose
Pasteurella pneumotropica 8% (2/25)	Zoonose
Pasteurella spp 8% (2/25)	Zoonose
Proteus mirabilis 4% (1/25)	Zoonose
Pseudomonas aeruginosa 4% (1/25)	Potentiel zoonotique
Pseudomonas fluorescens 4% (1/25)	Opportuniste environnemental
Pseudomonas stutzeri 4% (1/25)	Opportuniste environnemental
Rhizobium radiobacter 4% (1/25)	Plante et sol
Salmonella enterica spp 4% (1/25)	Zoonose
Serratia odorifera 4% (1/25)	Environnement
Serratia plymuthica 4% (1/25)	Environnement
Staphylococcus à coagulens négative 8% (2/25)	commensale cutané
Staphylococcus d'aureus 8% (2/25)	Zoonose
Staphylococcus lugdunensis 4% (1/25)	Opportuniste humain
Staphylococcus xylosus 4% (1/25)	Opportuniste animal
Streptococcus agalactiae 16% (4/25)	Zoonose
Streptococcus dysgalactiae 4% (1/25)	Zoonose
Streptococcus mitis1 4% (1/25)	Commensale
Streptococcus pyogene 4% (1/25)	Zoonose
Streptococcus pneumoniae 8% (2/25)	souche humaine stricte
Streptococcus suis 4% (1/25)	Zoonose
Streptococcus urinae 4% (1/25)	Affection animale
Yersinia enterocolitica 44% (11/25)	Zoonose

## Agents pathogènes ciblés

### Virus de l'hépatite E (HEV)

L'analyse moléculaire de 125 *Rattus norvegicus* de l'EMS a révélé la présence du virus d'hépatite E génotype C1 chez 28% (n = 35) individus. Cette prévalence variait fortement selon les sites, de 22,2 % à 100 %, avec une différence significative entre sites ( $\chi^2 = 102,33$  ; ddl = 4 ; p = 0,0001) (Tableau 13). En revanche, aucune différence significative n'a été observée selon le sexe, l'âge ou le type d'habitat (urbain vs périurbain), suggérant une exposition précoce.

À Lomé, l'analyse moléculaire de 36 individus de rongeurs a révélé la présence du virus de l'hépatite E (génotype non déterminé) chez 50% (n = 18). Cette prévalence variait de 0,0 % à 80,95 % selon les sites (Tableau 14), avec des différences significatives entre sites ( $\chi^2 = 80,61$  ; ddl = 3 ; p = 0,0001), espèces ( $\chi^2 = 96,33$  ; ddl = 4 ; p = 0,0001), types d'habitat (urbain > périurbain ;  $\chi^2 = 28,47$  ; ddl = 1 ; p = 0,0001) et classes d'âge (prévalence maximale chez les subadultes ;  $\chi^2 = 17,19$  ; ddl = 2 ; p = 0,0004). Aucune différence n'a été observée selon le sexe (p = 0,59).

**Interprétation** : dans un système monospécifique (EMS), la dynamique de l'HEV reflète surtout une hétérogénéité spatiale intra-urbaine ; dans un système multi-hôte (Lomé), identité spécifique et habitat deviennent déterminants.

Tableau 12: Prévalence du virus de l'hépatite E-C1 chez *Rattus norvegicus* à l'EMS

Paramètres	Prévalence du virus de l'hépatite E (HEV-C1) chez <i>Rattus norvegicus</i>			Chisquare test
	Nb. Examiné	Nb. Infecté	Prévalence	
Site1S	50	14	28%	p-value = 0.0001
Site2E	20	8	40%	
Site3W	9	2	22,20%	
Site4D	1	1	100%	
Site5C	45	10	22,20%	p-value = 0.14
Mâle	56	19	33,90%	
Femelle	69	16	23,20%	p= 0,68
Juvenile	34	8	23,52%	
Subadulte	29	7	24,13%	
Adulte	63	20	31,74%	p = 0,22
Urbain	117	33	28,20%	
Périurbain	8	2	37,5%	

Tableau 13: Prévalence du virus de l'hépatite E chez les rongeurs à Lomé

Paramètres	Prévalence du virus de l'hépatite E (HEV) chez les rongeurs de Lomé			Chisquare test
	Nb. Examiné	Nb. Infecté	Prévalence	
Site1Kl	6	1	16,67%	

Site2K	21	17	80,95%	p = 0.0001
Site3T	2	0	0,00%	
Site4AV	4	0	0,00%	
<i>Arvicanthis niloticus</i>	13	12	92,30%	
<i>Cricetomys gambianus</i>	1	0	0,00%	
<i>Mastomys natalensis</i>	5	4	80,00%	p = 0.0001
<i>Rattus norvegicus</i>	4	1	25,00%	
<i>Rattus rattus</i>	10	1	10,00%	
Urbain	23	17	73,91%	
Périurbain	10	1	10,00%	p=0,0001
Mâle	18	9	50,00%	
Femelle	15	9	60,00%	p =0,59
Juvenile	6	5	83,33%	
Subadulte	5	5	100,00%	
Adulte	22	8	36,36%	P =0,0004

### ***Toxoplasma gondii* (EMS)**

Sur 67 individus de *Rattus norvegicus* testés, dix-neuf (19) ont montré un résultat positif, soit une prévalence globale de 28,35% (Tableau 15). Cette prévalence variait significativement entre sites (17,9 % à 42,3 % ;  $\chi^2 = 11,86$  ;  $p = 0,0028$ ) et sexe (mâles 42,3 % > femelles 19,5 % ;  $\chi^2 = 8,41$  ;  $p = 0,0044$ ). Aucune différence urbain vs périurbain ( $\chi^2 = 0,79$  ;  $p = 0,33$ ). Selon l'âge, la prévalence était plus élevée chez adultes (34,3 %) vs juvéniles (20,0 %), sans significativité ( $\chi^2 = 4,49$  ;  $p = 0,096$ ).

Ces observations suggèrent que, même dans une communauté monospécifique, les facteurs comportementaux (sexe) et micro-habitats (site) structurent la circulation des protozoaires dont *Toxoplasma gondii*.

Tableau 14: Prévalence de *Toxoplasma gondii* chez *Rattus norvegicus* à l'EMS

Paramètres	Prévalence de <i>Toxoplasma gondii</i> chez <i>Rattus norvegicus</i>			
	Nb. Examiner	Nb. Infecter	Prevalence	Test Chi2
Site1E	28	5	17,9%	
Site2S	26	11	42,3%	p = 0,0028
Site3W	13	3	23,1%	
Mâle	26	11	42,3%	p = 0,0044
Femelle	41	8	19,5%	
Urbain	54	16	29,6%	p = 0,33
Périurbain	13	3	23,1%	
Juvenile	10	2	20,0%	p = 0,096
Subadulte	22	5	22,7%	
Adulte	35	12	34,3%	

### ***Borrelia spp.* (EMS)**

Sur 45 individus de *R. norvegicus* testés pour *Borrelia spp.*, six ont montrés de résultats positifs, soit une prévalence globale de 13,33%. Cette prévalence variait significativement entre sites (5,56 % à 37,5 % ;  $\chi^2 = 15,34$  ;  $p = 0,002$ ), habitat (urbain < périurbain ;  $\chi^2 = 10,59$  ;  $p = 0,001$ ), sexe (femelles > mâles ;  $\chi^2 = 6,07$  ;  $p = 0,0167$ ) et âge (juvénile > adulte et subadulte,  $\chi^2 = 13,51$  ;  $p = 0,001$ ), (Tableau 16). En revanche, aucune différence significative n'a été observé entre l'hiver et le printemps ( $\chi^2 = 1,13$  ;  $p = 0,2443$ ).

Ces observations suggèrent une transmission fine, modulée par l'âge et l'habitat, au sein d'une seule espèce réservoir (communauté monospécifique).

Tableau 15: Prévalence de *Borrelia spp.* chez *Rattus norvegicus* à Strasbourg

Prévalence de <i>Borrelia spp.</i> chez <i>Rattus norvegicus</i>				
Paramètres	Nb. Examiné	Nb. Infecté	Prévalence	Chi2
Site1E	19	2	10,5%	
Site2S	18	1	5,56%	
Site3W	8	3	37,5%	P =0,002
Mâle	17	1	5,88%	
Femelle	28	5	17,9%	p =0,0167
Urbain	37	3	8,1%	
Périurbain	8	3	37,5%	p =0,001
Printemps	18	3	16,7%	
Hiver	27	3	11,1%	
Juvénile	10	2	20%	P =0,24
Subadulte	22	0	0,0%	
Adulte	35	4	11,43%	P= 0,001

### ***Leptospira interrogans* (EMS)**

Parmi les 125 individus de *R. norvegicus* testés, dix (10) ont montrés un résultat positif soit (8,0%) au *Leptospira interrogans* génotyp *Icterohaemorrhagiae* sérovars *Copenhageni*. Cette prévalence variait significativement entre sites (0,0 % à 11,54 % ;  $\chi^2 = 12,78$  ;  $p = 0,0072$ ) (Tableau 17). Elle était légèrement plus élevée chez les mâles (10,71 %) que chez les femelles (5,79 %), sans différence significative ( $\chi^2 = 1,46$  ;  $p = 0,309$ ). En fonction de l'âge, la prévalence atteignait 13,56 % chez les adultes contre 0,0 % chez les juvéniles, avec une différence significative ( $\chi^2 = 9,056$  ;  $p = 0,0066$ ). Suivant la saison, elle était légèrement plus élevée en hiver (8,51 %) qu'au printemps (7,69 %), sans différence significative ( $\chi^2 = 0,054$  ;  $p = 0,72$ ). Enfin, la prévalence était significativement plus élevée en milieu urbain qu'en milieu périurbain ( $\chi^2 = 5,7$  ;  $p = 0,0001$ ).

Ces observations suggèrent une transmission de *Leptospira* dépendante de la densité et de la maturité des hôtes, avec articulation traits biologiques–conditions urbaines.

Tableau 16: Prévalence de *Leptospira interrogans* chez *Rattus norvegicus* à l'EMS

Paramètres	Prévalence de l'infection de leptospira spp chez <i>Rattus norvegicus</i>			ChisquareTest
	Nb. Examiné	Nb. Infecté	Prévalence	
Site1E	19	1	5,26%	p =0,0072
Site2S	52	6	11,54%	
Site3W	8	0	0,00%	
Sites4C	45	3	6,67%	
Site5D	1	0	0,00%	p =0,309
Mâle	56	6	10,71%	
Femelle	69	4	5,79%	p =0,0001
Urbain	117	10	8,55%	
Périurbain	8	0	0,00%	
Printemps	78	6	7,69%	p = 0,72
Hiver	47	4	8,51%	
Adulte	59	8	13,56%	
Subadulte	31	2	6,45%	p = 0,0066
Juvénile	35	0	0,00%	

## Structure spatiale et infections interspécifique

### a- Structure spatiale

À l'EMS, 28 taxons zoonotiques (parasites, bactéries, virus, protozoaires) ont été recensés parmi les pathogènes détectés. Parmi eux, *Ascaris* spp, *Toxoplasma gondii.*, *Borrelia* spp, HEV-C1. présentaient les occurrences les plus notables (Figure 28A&C). Toutefois, l'analyse PERMANOVA n'a pas détectée de différence significative de composition entre sites (Pseudo-F = 1,32 ;  $p = 0,15$ ) : suggérant une homogénéité spatiale.

À Lomé, 28 taxons zoonotiques (nématodes, cestodes, protozoaires, bactéries, virus) ont été détectés. *Ascaris* spp., *Taenia* spp. et *Trichostrongyloides* spp. dominaient (Figure 28B&D). La PERMANOVA indique des différences significatives entre sites (Pseudo-F = 3,196 ;  $df = 3$  ;  $p < 0,001$ ) : suggérant une forte hétérogénéité spatiale.

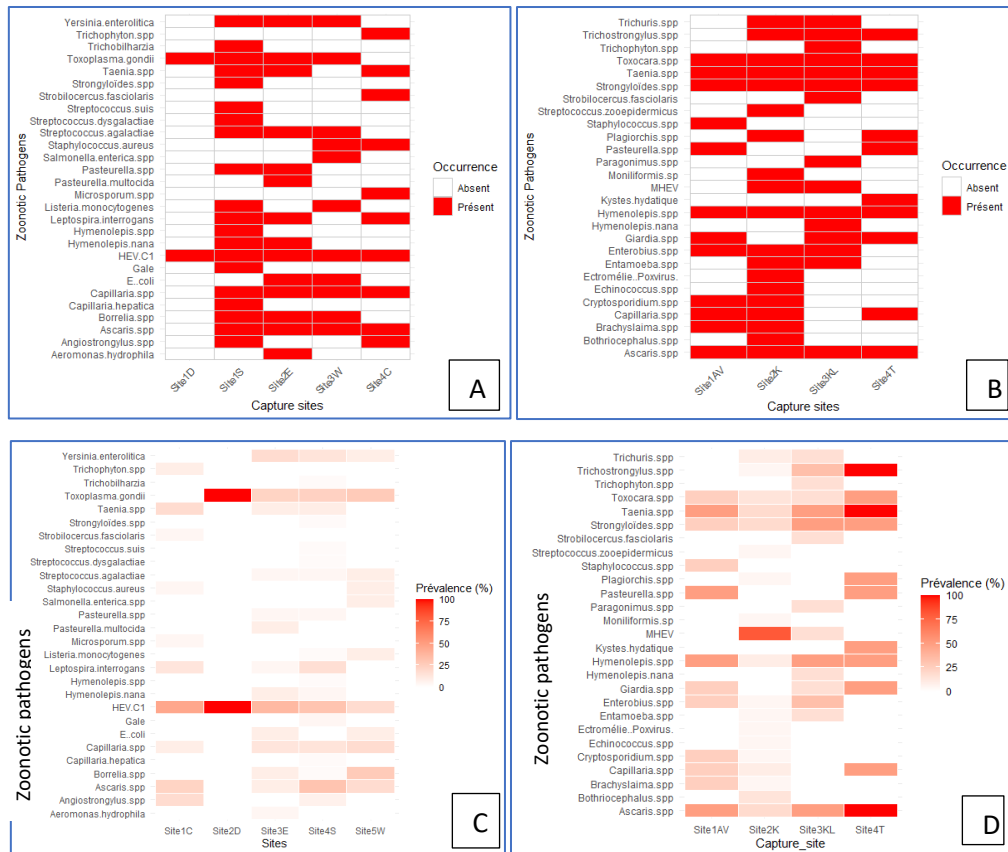


Figure 28: Occurrence moyenne des agents pathogènes zoonotiques détectés chez les rongeurs selon les sites (A&C : Strasbourg ; B&D : Lomé)

(l'intensité de la coloration reflète la proportion d'individus infectés (occurrence relative), prévalence allant de 0 % (blanc) à 100 % (rouge foncé))

### b- infections interspécifiques

Chez cinq espèces (*Arvicanthis niloticus*, *Cricetomys gambianus*, *Mastomys natalensis*, *Rattus norvegicus* et *Rattus rattus*) de Lomé, les profils infectieux sont très différents. *C. gambianus*(N°2), *R. norvegicus* (N°4) et *R. rattus* (N°5) présentaient une occurrence élevée de plusieurs agents, tandis que *A. niloticus* (N°1) et *M. natalensis* (N°3) montraient des profils plus pauvres ou quasi absents (Figure 29). L'analyse PERMANOVA (distance de Bray–Curtis, 999 permutations), a révélé une différence significative entre espèces (Pseudo-F = 3,844 ; p = 0,001). Ces observations suggèrent une diffusion homogène concentrée en monospécifique (Strasbourg) versus structuration interspécifique et site-dépendante dans une communauté multi-hôte (Lomé).

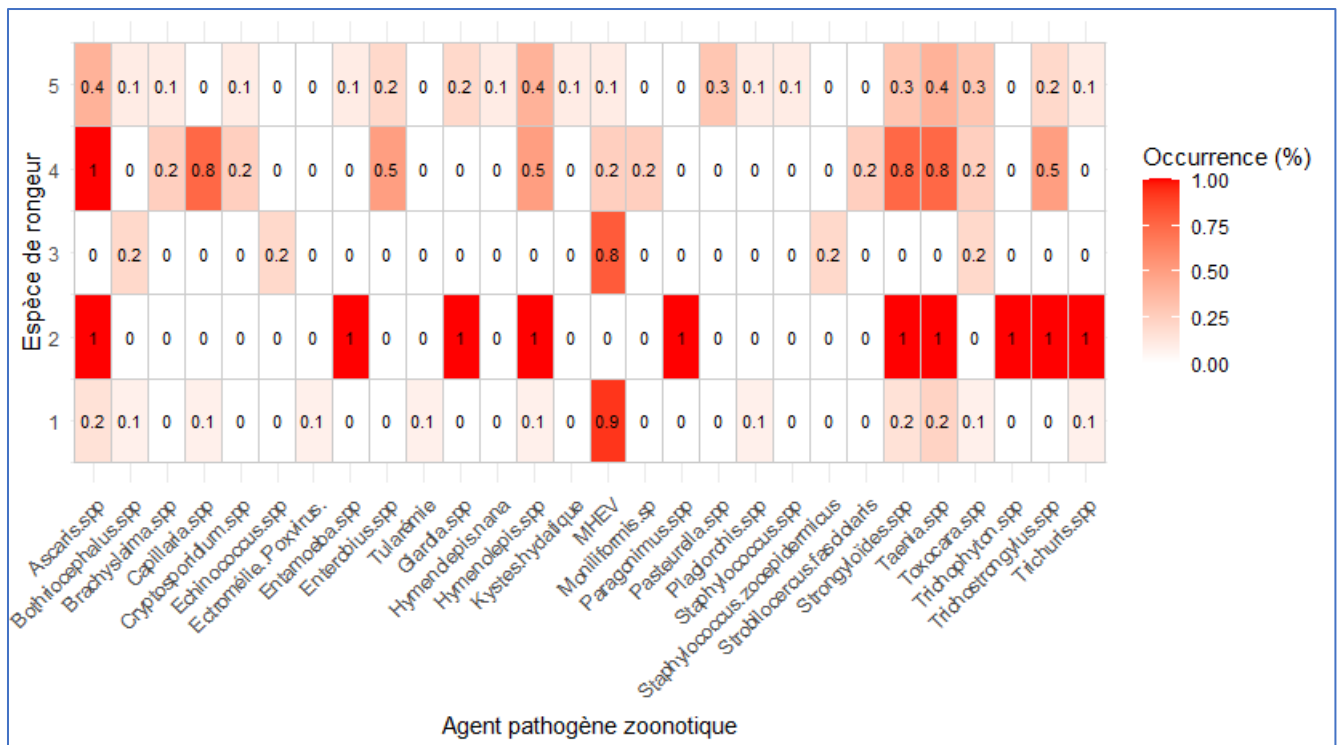


Figure 29: Occurrence moyenne des agents pathogènes zoonotiques détectés chez cinq espèces de rongeurs

L'axe des ordonnées montre le code numérique des espèces de rongeur (1 : *A. niloticus*, 2 : *C. gambianus*, 3 : *M. natalensis*, 4 : *R. norvegicus*, 5 : *R. rattus*) ; l'intensité de la coloration reflète la proportion d'individus infectés (occurrence relative), prévalence allant de 0 % (blanc) à 100 % (rouge foncé). L'axe des abscisses montre les agents pathogènes zoonotiques détectés.

## Facteurs de richesse et de diversité des communautés d'agents pathogènes zoonotiques

### a- L'EMS

L'analyse par régression linéaire multiple de la richesse et de diversité spécifique relative (indice de Shannon) des agents pathogènes zoonotiques chez *Rattus norvegicus* a révélé une augmentation avec la taille (longueur tête–corps, proxy d'âge) des individus : estimate =  $0,01 \pm 0,002$  ;  $F = 5,76$  ;  $p = 4,33 \times 10^{-7}$  (Figure 31). En revanche, aucun effet significatif du site, de la saison, du type d'habitat, de la masse ou du sexe ( $p > 0,05$ ), confirmé par Tukey HSD (Figure 30).

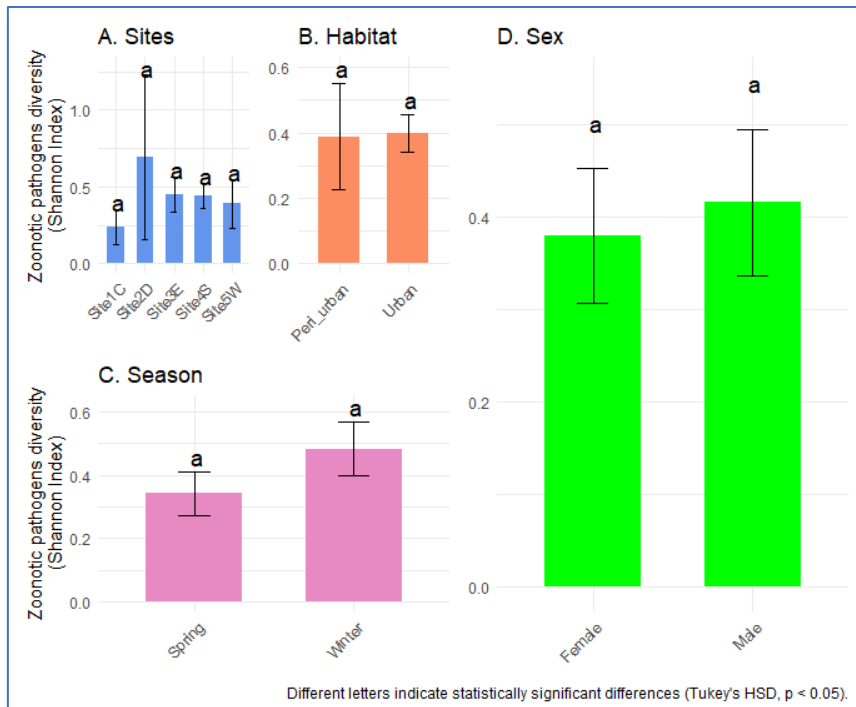


Figure 30: Influence des facteurs extrinsèques et intrinsèques sur la richesse et la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez *R. norvegicus* (EMS)

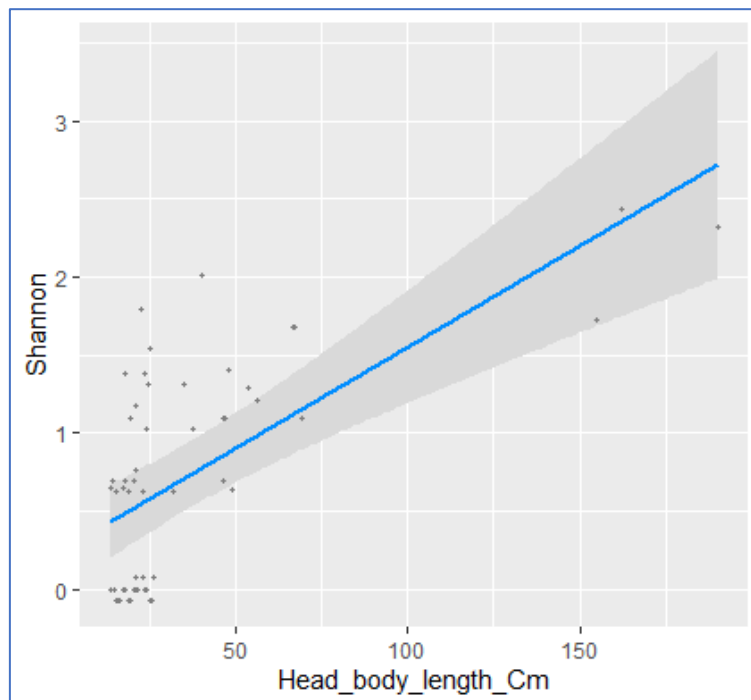


Figure 31: : Effets de la taille (longueur tête-corps) sur la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez *R. norvegicus* (EMS)

## b- Lomé

L'analyse par régression linéaire multiple de la richesse et de la diversité relative des pathogènes zoonotiques chez cinq espèces de rongeurs a révélé que la richesse et la diversité des

pathogènes zoonotiques varient significativement selon l'espèce de rongeur ( $df = 4, F = 4,46, p = 0,010$ ), la masse corporelle ( $F = 2,44, p = 0,025$ ) et la taille corporelle ( $F = 12,92, p = 0,002$ ). L'effet du site de capture apparaissait marginal, sans atteindre le seuil de signification statistique ( $df = 3, F = 3,073, p = 0,053$ ). En revanche, aucune variation significative n'a été détectée en fonction de la saison ( $df = 1, F = 1,107, p = 0,305$ ), du sexe, du type d'habitat (urbain/périurbain), de l'habitat spécifique de capture ( $p > 0,05$ ). Ces résultats, incluant les effets significatifs et non significatifs, ont été confirmés par les tests post-hoc de Tukey HSD (Figures 32-34).

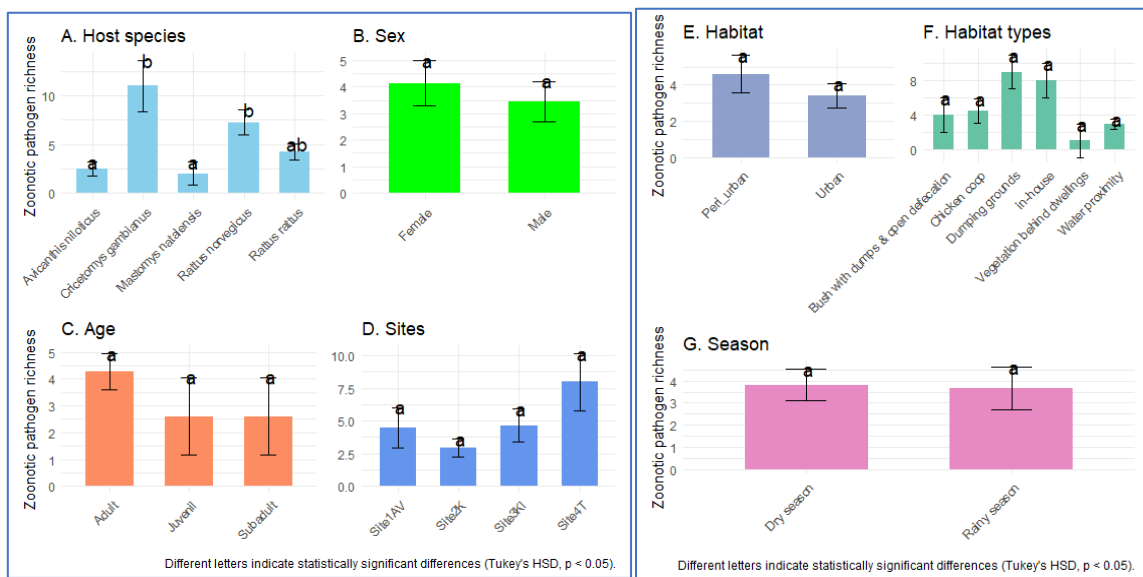


Figure 32: Influence des facteurs extrinsèques et intrinsèques sur la richesse spécifique des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs de Lomé

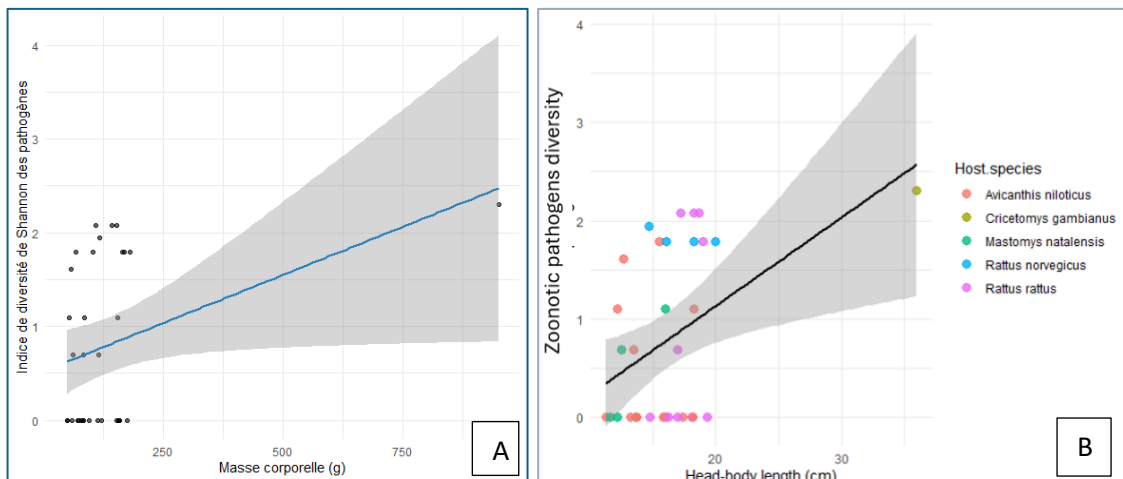


Figure 33: Effets de la masse corporelle (A) et de la taille (B) sur la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs de Lomé

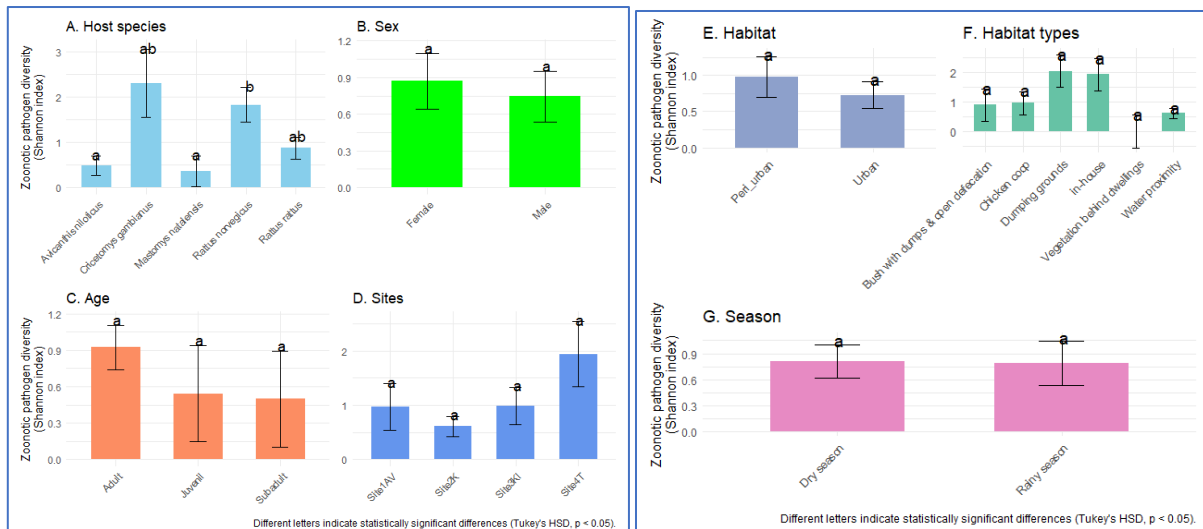


Figure 34: Influence des facteurs extrinsèques et intrinsèques sur la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs de Lomé

Les barres représentent les moyennes de l'indice de diversité de Shannon  $\pm$  erreur standard. Des lettres différentes indiquent des différences statistiquement significatives entre groupes (emmeans suivie du test HSD de Tukey,  $p < 0,05$ ).

Ces observations suggèrent que dans un système monospécifique, la diversité pathogène croît avec l'exposition cumulative (âge), tandis que dans un système multi-hôte, elle dépend de l'identité des espèces et de leurs traits.

### Structuration (analyses multivariées)

L'analyse des correspondances multiples (MCA) fondée sur la présence/absence des pathogènes zoonotiques chez *Rattus norvegicus* capturés sur cinq sites de l'EMS (Sites 1S, 2E, 3W, 4D et 5C) n'a pas mis en évidence de différenciation nette des profils infectieux. Bien que certains individus se distinguent légèrement, la structure globale demeure homogène (Figure 35A). Les deux premiers axes de la MCA expliquent respectivement 10,8% et 8,6% de la variance totale. Le test PERMANOVA confirme cette absence de différence significative entre sites (Pseudo-F = 1,32 ;  $p = 0,15$ ). Le test SIMPER indique que la diversité résiduelle détectée repose sur quelques agents spécifiques, notamment *Strongyloides* spp., *Trichobilharzia* spp. et *Hymenolepis* spp. (Corrélés à Dim1), ainsi que *Pseudomonas aeruginosa*, *Pasteurella multocida*, *Hymenolepis nana* et *Yersinia enterocolitica* (corrélés à Dim2) (Figure 35B).

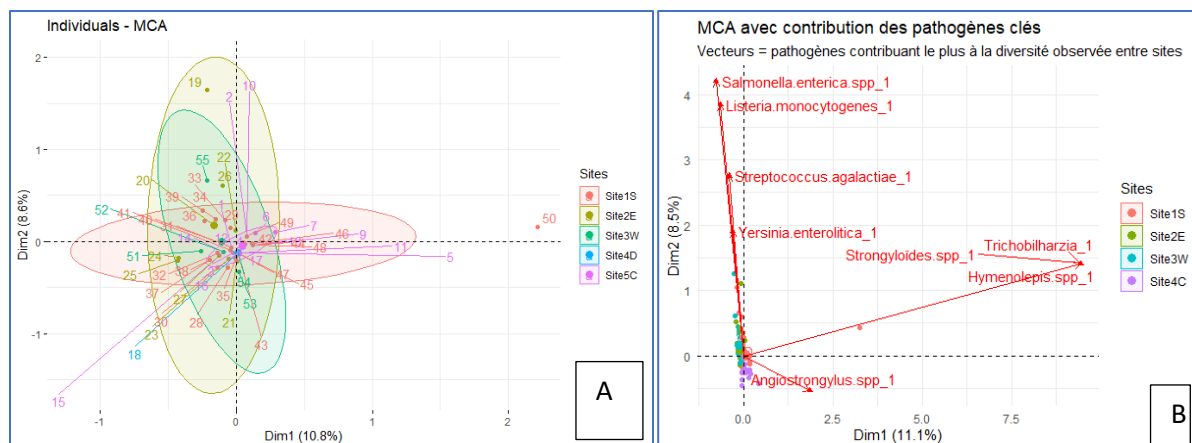


Figure 35: Profils infectieux des agents pathogènes zoonotiques chez *R. norvegicus* selon les sites à l'EMS

(chaque point représente un individu, coloré selon son site. Les cercles représentent les hélices de 95% d'intervalle de confiance)

À Lomé, l'analyse des correspondances multiples (MCA) fondée sur la présence/absence des pathogènes zoonotiques sur les sites a révélé une nette différenciation des profils infectieux entre les quatre sites de capture (1AV, 2K, 3Kl et 4T). Certains sites se caractérisent par une accumulation d'agents pathogènes diversifiés, tandis que d'autres sont dominés par un nombre restreint de taxons spécifiques (Figure 29A). Les deux premiers axes expliquent 21,8 % (Dim 1) et 10,8 % (Dim 2) de l'inertie totale. Cette hétérogénéité spatiale a été confirmée par l'analyse PERMANOVA (Pseudo-F = 3,196 ;  $p < 0,001$ ), qui indique une variation significative de la composition des communautés pathogènes entre sites. L'analyse SIMPER a montré que cette différenciation est principalement due à des pathogènes spécifiques tels que les kystes hydatiques, *Plagiorchis* spp., *Pasteurella* spp., *Trichuris* spp., *Entamoeba* spp., *Paragonimus* spp. et *Trichophyton* spp., fortement corrélés à Dim 1 (Figure 36B).

De la même manière, l'approche MCA appliquée aux données de présence/absence des pathogènes chez cinq espèces de rongeurs (*A. niloticus*, *C. gambianus*, *M. natalensis*, *R. norvegicus* et *R. rattus*) a également mis en évidence une structuration nette des individus selon leur espèce (Figure 36C). Cette hétérogénéité interspécifique, confirmée par la PERMANOVA (Pseudo-F = 3,844 ;  $p < 0,001$  ; distance de Bray–Curtis, 999 permutations), se traduit par un faible recouvrement entre *R. norvegicus* et les autres espèces, comme le confirment les ellipses de confiance à 95 %. Le test SIMPER identifie notamment *Ascaris* spp., *Hymenolepis* spp., *Paragonimus* spp., *Trichophyton* spp., *Entamoeba* spp. et *Trichuris* spp. comme principaux contributeurs à la séparation observée. Ils sont fortement corrélés à Dim 1 et sont responsables d'une part importante de la variance interindividuelle (Figure 36D).

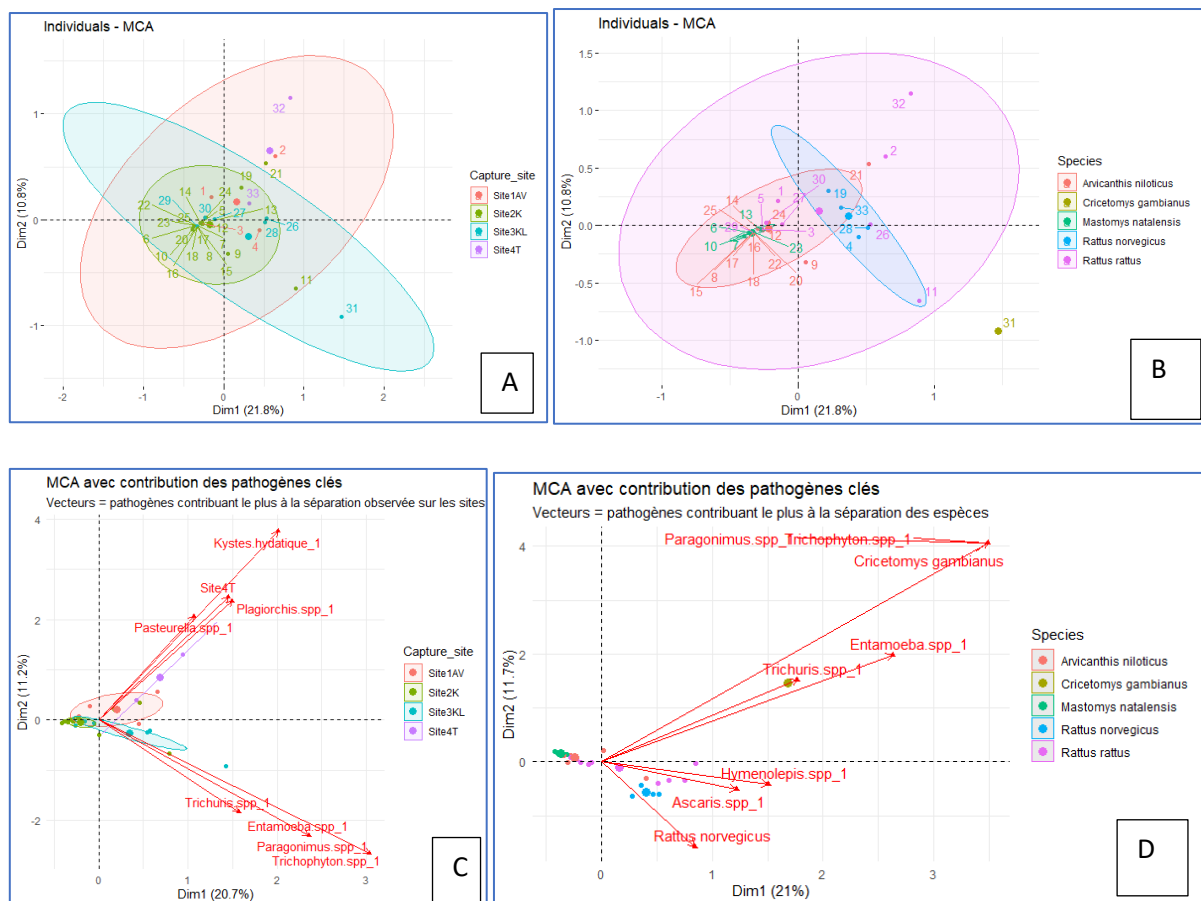


Figure 36: Profils infectieux des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs selon les sites (A) et les espèces (B), les contributeurs sites (C), contributeurs espèces (D)

(chaque point représente un individu, coloré selon son site)

L'analyse canonique des correspondances (CCA) menée sur présence/absence des pathogènes zoonotiques chez les rongeurs capturés à Lomé et à l'EMS, en fonction de six variables socio-environnementales et climatiques (NDVI, densité humaine, pluviométrie, température, abondance des bâtis et routes), révèle une structuration partielle de leur distribution (Figure 37). Les deux premiers axes expliquent 35,0 % (CCA1) et 21,4 % (CCA2) de la variance totale. Le premier axe associe des bactéries telles que *Listeria monocytogenes*, *Borrelia* spp., *E. coli* et *Streptococcus agalactiae* aux gradients environnementaux positifs, tandis que *Entamoeba* spp. et *Trichophyton* spp. occupent une position centrale. L'axe 2 met en évidence l'influence de *Leptospira interrogans* et du virus de l'hépatite E, liés au NDVI. Les variables de végétation et d'occupation humaine apparaissent structurantes. Toutefois, le test global n'est pas significatif ( $F = 1,27$  ;  $p = 0,19$ ) et seule la tendance du premier axe ( $p = 0,08$ ), suggérant une structuration écologique incomplète.



virus. La courbe de tendance lissée appuie ces observations en mettant en évidence une réémergence progressive de l'infection à partir de la fin de l'année 2022.

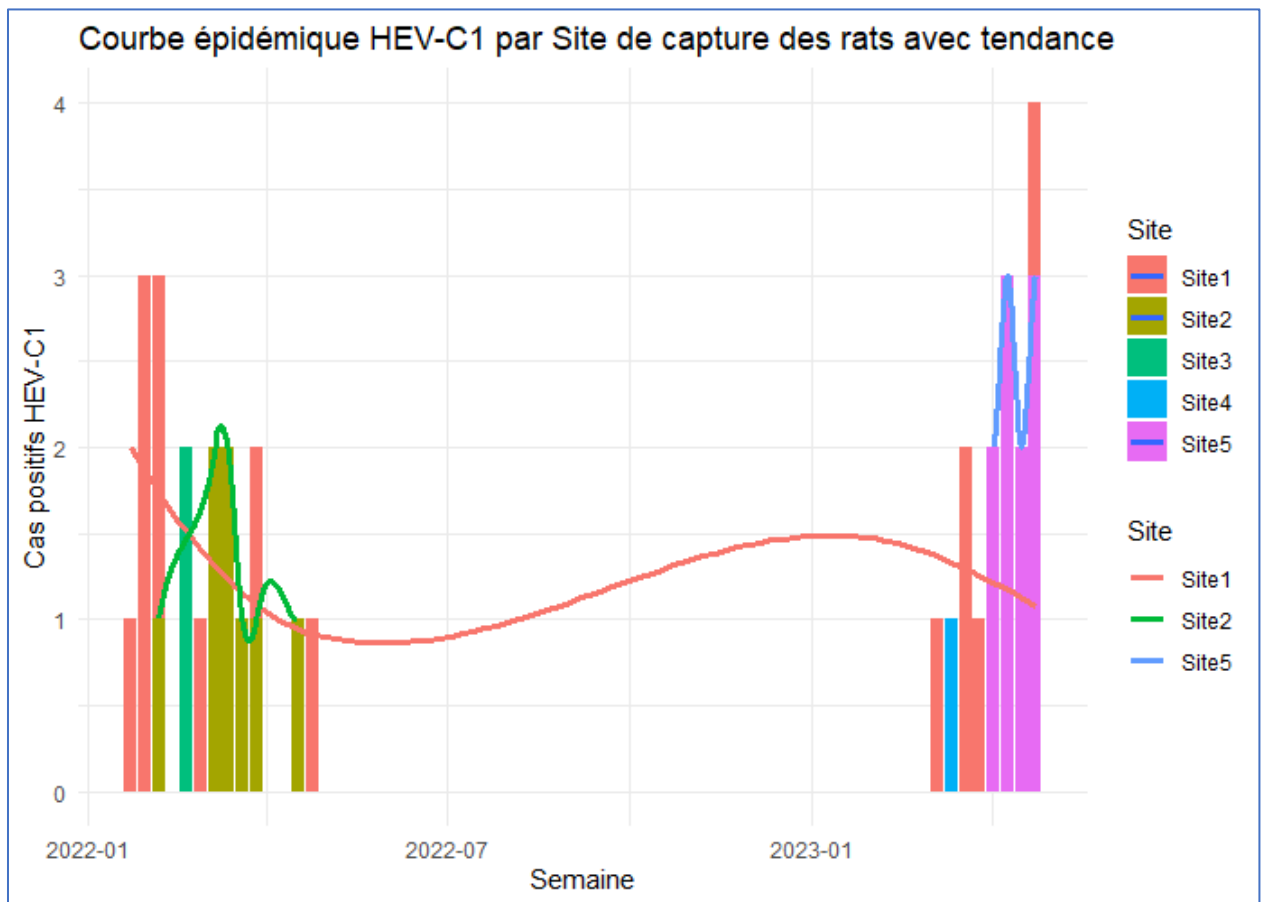


Figure 38: Évolution hebdomadaire de l'incidence du virus de l'hépatite E génotype C1 chez *R. norvegicus* à l'EMS

(la courbe lissée illustre la tendance générale de l'incidence)

Parallèlement aux observations de l'EMS, l'analyse de la dynamique temporelle de la circulation du virus de l'hépatite E (HEV) dans la population des rongeurs capturés à Lomé a révélé une hétérogénéité marquée dans le temps suivant les sites d'échantillonnage (Figure 39). Au cours de la semaine du 19 août, trois cas positifs ont été détectés, répartis entre le site K1 (n = 1) et le site K (n = 2). La semaine suivante (26 août), une augmentation significative a été observée, atteignant un maximum de huit cas, exclusivement issus du site K, suggérant un pic épidémique localisé. Lors de la semaine du 2 septembre, le nombre de cas avait légèrement diminué à sept, toujours concentrés sur le site K. La courbe de tendance met en évidence une dynamique ascendante entre le 19 et le 26 août, suivie d'un infléchissement début septembre, traduisant un ralentissement de la transmission après le pic.

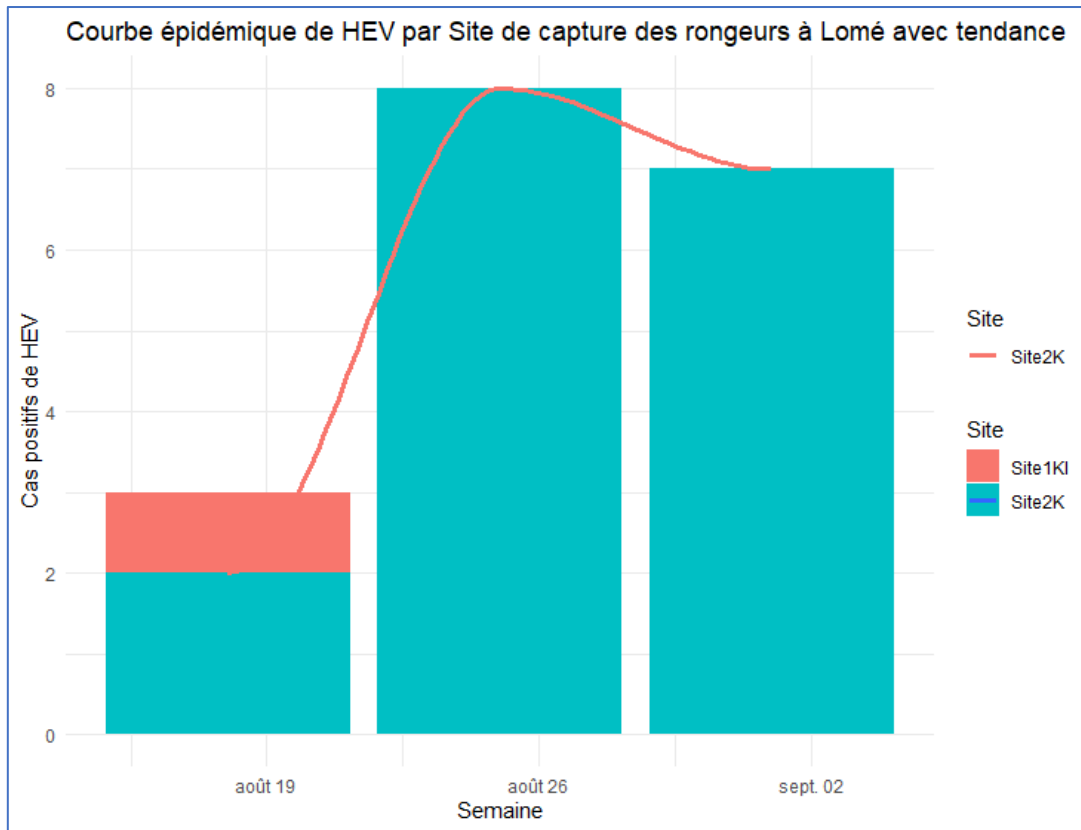


Figure 39: Évolution hebdomadaire de l'incidence du virus de l'hépatite E chez les rongeurs entre août et octobre 2024

(la courbe lissée illustre la tendance générale de l'incidence)

### **b- Circulation de *Toxoplasma gondii***

L'analyse spatio-temporelle de la circulation de *Toxoplasma gondii* chez *Rattus norvegicus* à l'EMS révèle une dynamique caractérisée par un pic marqué de transmission à la mi-mars (Figure 40). La courbe de tendance lissée (loess) confirme cette intensification, traduisant une phase de forte circulation parasitaire au printemps. Globalement, la dynamique apparaît unimodale, mais elle présente des variations notables selon les sites et les semaines d'échantillonnage. Les premiers cas positifs ont été détectés dès février, principalement sur le site 2S, suggérant une circulation précoce et persistante. Une recrudescence nette survient à partir de la semaine 8, culminant avec six cas concentrés sur les sites 1E et 2S. Cette phase est suivie d'une diminution progressive en avril, marquée par quelques cas sporadiques sur les sites 1E et 3W, avant une quasi-disparition en mai, période correspondant à la fin des captures. Ces résultats indiquent une circulation saisonnière de *T. gondii* dans les populations de rats urbains, avec une intensité maximale au printemps.

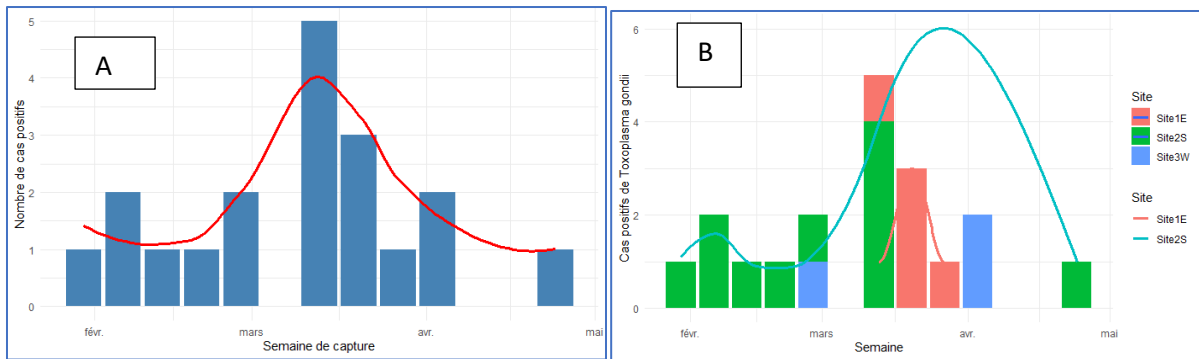


Figure 40: Évolution hebdomadaire de l'incidence de *Toxoplasma gondii* chez *R. norvegicus* à l'EMS ; évolution globale (A), évolution par site (B)

### c-Circulation de *Borrelia* spp

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle de la transmission de *Borrelia* spp. chez *Rattus norvegicus* de l'EMS a révélé une circulation relativement stable et localisée de la bactérie (Figure 41). Des cas positifs ont été détectés ponctuellement sur trois sites distincts : le site 1S en février, le site 3W en mars-avril et le site 2E en avril-mai. Chaque site n'avait enregistré qu'un faible nombre d'individus infectés, sans tendance épidémique marquée ni pic de transmission. La courbe de tendance lissée a confirmé cette observation, en illustrant une dynamique stable caractérisée par des cas isolés répartis entre janvier et mai.

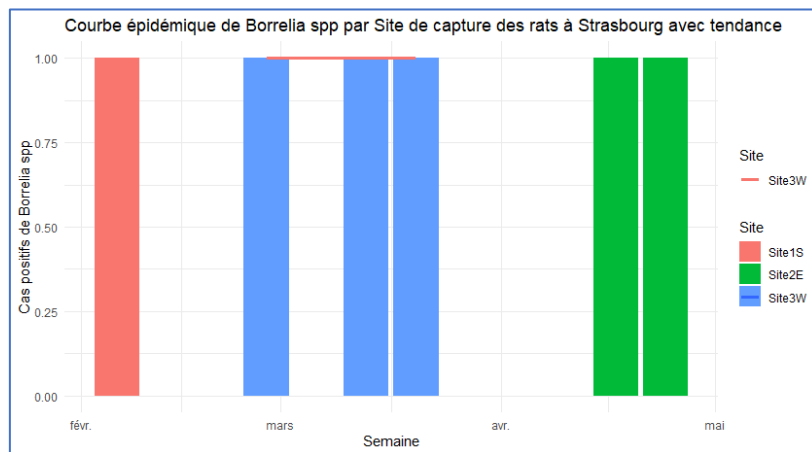


Figure 41: Évolution hebdomadaire de l'incidence de *Borrelia* spp. chez *R. norvegicus* à l'EMS

### d-Circulation de *Leptospira*

L'analyse de la dynamique spatio-temporelle de la transmission de *Leptospira interrogans* séro groupe Icterohaemorrhagiae dans la population de *Rattus norvegicus* de l'EMS met en évidence une distribution hétérogène selon les sites et les périodes d'échantillonnage (Figure 42). La courbe épidémique indique que les infections sont principalement localisées sur trois sites distincts (1S, 2E et 5C). Toutefois, la dynamique observée diffère entre ces sites : le site

1S présente une transmission persistante et continue, tandis que les sites 2E et 5C se caractérisent par une occurrence plus sporadique ou retardée des cas.

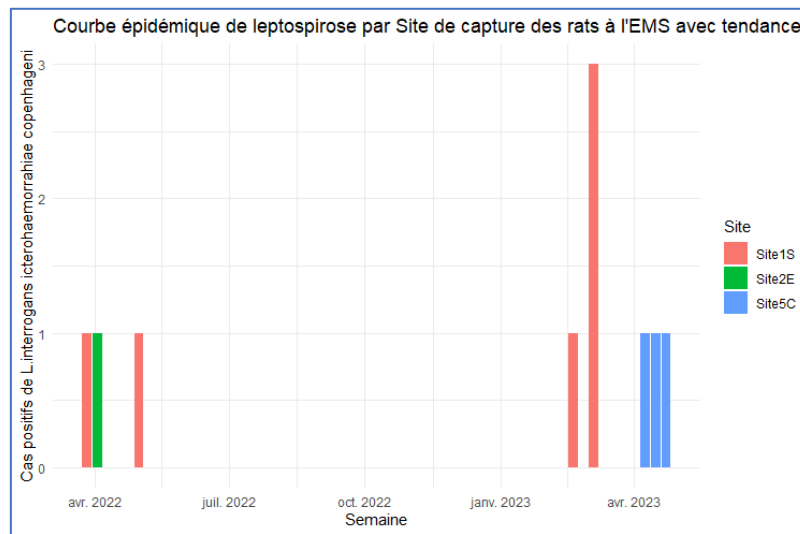


Figure 42: Évolution hebdomadaire de l'incidence de *Leptospira interrogans* chez *R. norvegicus* à l'EMS

Ces observations suggèrent un schéma épidémique à pic dans l'environnement tropical multi-hôte ; contre une circulation plus stable et récurrente dans la communauté monospécifique tempérée.

### Co-infections

La régression logistique pondérée, basée sur le nombre d'individus infectés et la diversité spécifique des pathogènes, a révélé des différences marquées de co-infections et de co-circulations des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs et entre sites (Figure 43) :

A Lomé, la fréquence des coinfections variait de 40% à 100% suivant les espèces de rongeurs. *Rattus norvegicus*, *Cricetomys gambianus* et *Rattus rattus* sont les espèces qui hébergeaient plusieurs pathogènes simultanément (Figure 43A). Cette fréquence de co-infection était négativement et significativement corrélée à la diversité spécifique des pathogènes (indice de Shannon) détectés par espèce hôte ( $cor = -0.88$  ;  $t = -3.2207$ ,  $df = 3$ ,  $p = 0.048$ ;  $IC_{95\%} = -0.99$  à  $0.006$ ). La diversité spécifique des coinfections des pathogènes variait significativement entre espèces. Kruskal-Wallis chi-squared = 10.662,  $df = 4$ ,  $p$ -value = 0.030) (Figure 43B).

Suivant les sites de capture à Lomé, la fréquence des co-infections variait de 19,1% à 50%. Les sites 1AV et 4T, hébergeaient plusieurs pathogènes simultanément (Figure 43C). Cependant, cette fréquence de co-infection présentait une corrélation négative non significative avec la diversité spécifique des agents pathogènes ( $cor = -0.72$  ;  $t = -1.48$ ,  $df = 2$ ,  $p = 0.27$ ;  $95\%IC = -$

0.99 à 0.77). La diversité spécifique des agents pathogènes variait significativement entre sites (Kruskal-Wallis chi-squared = 7.0887, df = 3, p-value = 0.0069) (Figure 43D).

A l'EMS, la fréquence des co-infections chez *Rattus norvegicus* variait de 36,4% à 100% selon les sites (Figure 43E). Cette fréquence de co-infection était négativement et significativement corrélée à la diversité spécifique résiduelle des pathogènes (indice de Shannon) détectés par individu (cor = -0.89 ; t = -3.53 ; df = 3 ; p = 0.038; IC95% = -0.99 à 0.07). La diversité spécifique des pathogènes ne variait pas significativement entre les sites (Kruskal-Wallis chi-squared = 2.11, df = 4, p-value = 0.71) (Figure 43F).

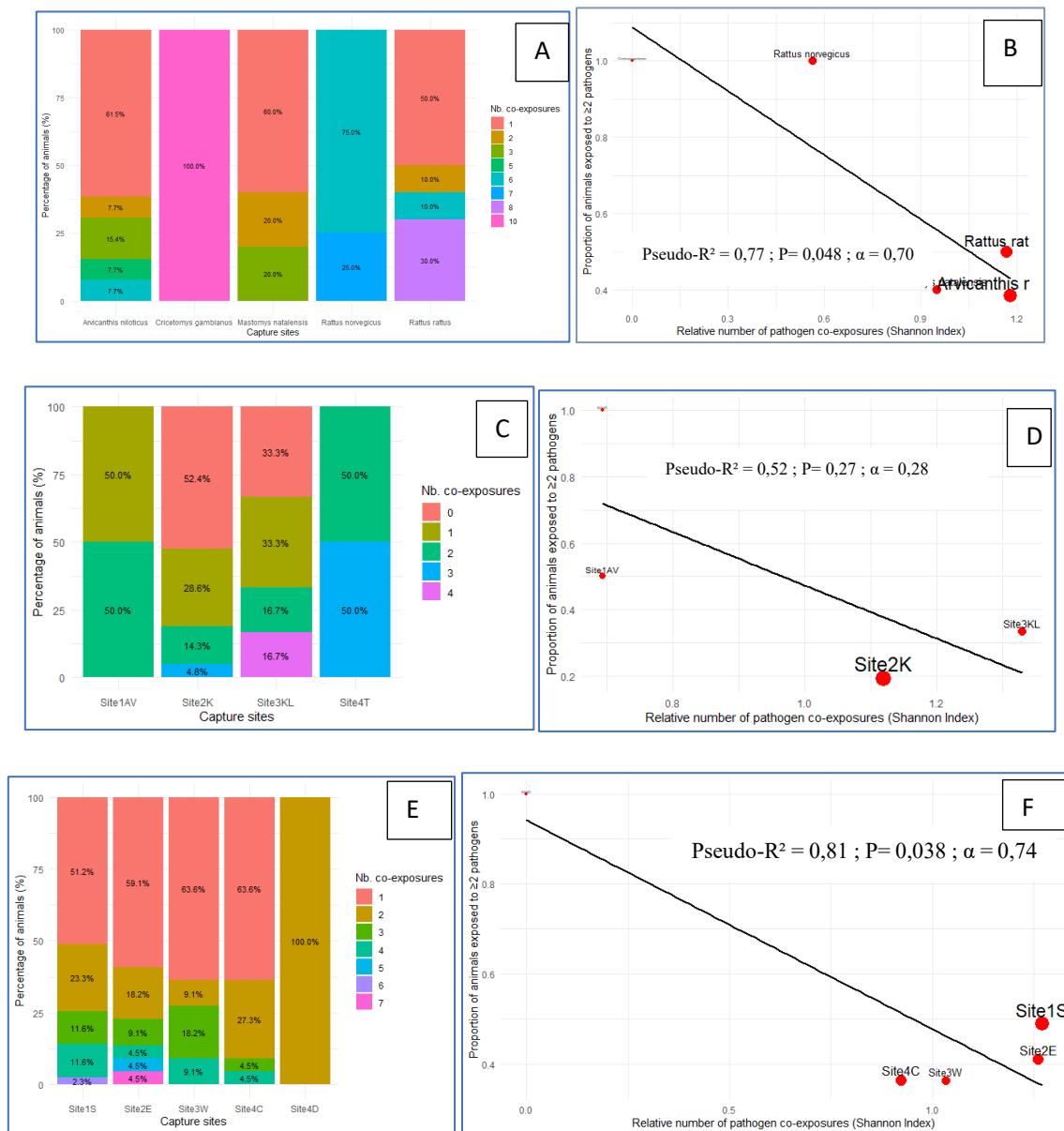


Figure 43: Co-infections des agents pathogènes zoonotiques chez les rongeurs à l'EMS (E-F) et à Lomé (A-D)

Ces observations suggèrent des co-infections concentrées et homogènes en monospécifique (EMS) ; fragmentées et variables en multi-hôte (Lomé).

## **Discussion**

Cette étude avait pour objectif d'examiner comment des contextes écologiques et socio-environnementaux distincts façonnent les interactions hôte–pathogène–environnement dans deux systèmes urbains contrastés, Strasbourg (France) et Lomé (Togo). Les résultats montrent que la composition des communautés d'hôtes, la structure du paysage urbain et les pressions environnementales locales déterminent conjointement la diversité, la distribution et la dynamique des agents zoonotiques. Le contraste entre Strasbourg et Lomé illustre deux configurations écologiques urbaines opposées.

### **Deux modèles écologiques distincts**

Nos résultats montrent que les communautés de rongeurs urbains diffèrent fortement entre Strasbourg et Lomé : quasi-monospécificité de *Rattus norvegicus* à Strasbourg, contre coexistence multi-hôte à Lomé (*R. norvegicus*, *R. rattus*, *A. niloticus*, *M. natalensis*, *C. gambianus*). Cette divergence conditionne la dynamique des infections : dans un système monospécifique de rongeur, les agents pathogènes circulent de façon homogène au sein d'un hôte unique, alors que dans un système multi-hôte de rongeur, la transmission se fragmente entre espèces et habitats. Ces résultats confirment les travaux antérieurs montrant que la structure des communautés hôtes influence directement la circulation des pathogènes (Luis *et al.*, 2013 ; Johnson *et al.*, 2015).

### **Diversité et prévalence des agents pathogènes**

À Strasbourg, malgré une faible diversité d'hôtes rongeurs, nous avons détecté une richesse bactérienne et parasitaire élevée (*Yersinia enterocolitica*, *Ascaris spp.*, *Toxoplasma gondii*, *Borrelia spp.*, *Leptospira interrogans*). Cette situation illustre l'effet amplificateur d'une population dense et homogène, déjà décrit chez les rats urbains à Vancouver (Himsworth *et al.*, 2014). À Lomé, la diversité spécifique d'hôtes rongeurs s'est traduite par une plus grande variété de parasites et de bactéries, mais avec une prévalence globale moindre par espèce. Ces observations corroborent l'hypothèse selon laquelle la diversité hôte peut tantôt diluer la transmission, tantôt la réorganiser selon la compétence des espèces impliquées (effet « dilution » ; Keesing *et al.*, 2010), (effet « réorganisation » ; Johnson *et al.*, 2015).

### **Rôle des facteurs liés à l'hôte**

Les résultats montrent des différences nettes selon l'âge, le sexe et les traits morphologiques indiquant que les facteurs liés à l'hôte jouent un rôle déterminant dans la richesse et la diversité des agents pathogènes zoonotiques. À Strasbourg, la diversité pathogène augmentait avec la taille corporelle (proxy d'âge), suggérant un effet cumulatif de l'exposition dans le temps, comme déjà observé chez *R. norvegicus* (Stenseth *et al.*, 2003). Les mâles présentaient une séro-prévalence plus élevée pour *T. gondii*, ce qui peut être lié à des comportements exploratoires et à une exposition accrue (Prugnolle *et al.*, 2005). Chez *Leptospira*, la maturité (adultes) et milieu urbain ressortent comme déterminants, tandis que *Borrelia* est davantage associée au périurbain, aux femelles et aux juvéniles. À Lomé, l'identité spécifique conditionne la richesse et la diversité des infections, en interaction avec la masse et la taille, suggérant des trajectoires de risque différenciées selon les espèces : *R. norvegicus*, *R. rattus* et *C. gambianus* portaient la majorité des infections, confirmant leur rôle de réservoirs majeurs en Afrique subsaharienne (Ibrahim Danzabarma *et al.*, 2025). Ces observations soulignent que les traits de vie et la biologie des hôtes façonnent directement les profils infectieux.

### **Influence des facteurs environnementaux et anthropiques**

Nos analyses multivariées confirment que l'environnement module fortement la dynamique pathogène. À Strasbourg, la proximité des poubelles et une densité humaine élevée sont associées à la densité des rats et aux infections, rejoignant les observations faites à Paris (Desvars-Larrive *et al.*, 2017). À Lomé, l'abondance des rongeurs et la diversité des pathogènes étaient corrélée à la présence des points d'eaux urbains et au NDVI, soulignant l'importance des ressources naturelles dans les cycles de transmission. Le climat jouait également un rôle différencié : les pluies intenses favorisaient la circulation des rats à Lomé, tandis qu'à Strasbourg elles pouvaient perturber temporairement les habitats souterrains des rats. Ces résultats illustrent le rôle central des conditions environnementales, confirmant les cadres théoriques hôte–pathogène–environnement (Plowright *et al.*, 2021).

### **Structure spatiale, temporelle et co-infections**

L'homogénéité observée entre sites à Strasbourg contraste avec l'hétérogénéité marquée entre sites et espèces à Lomé. Cette différence structurelle reflète le poids de la composition des communautés hôtes : un hôte unique favorise la diffusion uniforme, tandis que des communautés multi-hôtes créent des foyers différenciés.

Sur le plan temporel, les dynamiques montrent des pics épidémiques nets à Lomé (HEV fin août), contre une circulation plus stable mais récurrente à Strasbourg (HEV, *Leptospira*).

Enfin, la fréquence plus élevée de co-infections dans le système monospécifique souligne la probabilité accrue d'accumulation d'agents dans une même population, tandis que dans le

système multi-hôte, la co-infection reste plus fragmentée. Ces résultats complètent les travaux sur le rôle de la densité et de la connectivité des hôtes dans la co-circulation des agents (Streicker *et al.*, 2013).

### **Implications pour l'approche One Health**

Dans l'ensemble, Strasbourg et Lomé illustrent deux modèles complémentaires d'interactions hôte–pathogène–environnement. Dans un système monospécifique dense de rongeur, la transmission est amplifiée et homogène, augmentant le risque de co-infections et de circulation silencieuse de pathogènes. Dans un système multi-hôte diversifié de rongeur, la transmission est modulée par l'identité des espèces et la variabilité des habitats, générant une dynamique plus hétérogène. La comparaison entre Strasbourg et Lomé souligne l'importance d'intégrer la structure des communautés de rongeur, la physionomie urbaine et les contraintes climatiques pour anticiper les risques zoonotiques en milieu urbain. D'un point de vue opérationnel, nos résultats plaident pour une gestion différenciée : lutte ciblée et gestion des déchets dans les métropoles tempérées à hôte dominant ; amélioration de l'assainissement, gestion des points d'eau et surveillance multi-hôtes en contexte tropical. Plus largement, cette étude souligne la pertinence des rats comme sentinelles écologiques et l'importance de l'approche intégrée « One Health » pour comprendre et anticiper les risques zoonotiques urbains.

### **Conclusion et perspectives**

Cette étude a permis de caractériser la diversité et la dynamique des agents pathogènes circulant chez les rats urbains dans deux contextes contrastés : Strasbourg, marqué par une communauté monospécifique de *Rattus norvegicus*, et Lomé, système multi-hôte de rongeur. Nos résultats montrent que la structure des communautés de rongeur conditionne la circulation des agents infectieux — homogène et amplifiée en monospécifique, fragmentée et modulée par les espèces et les habitats en multi-hôte. L'analyse intégrée des facteurs liés à l'hôte, à l'environnement et aux agents pathogènes confirme que la dynamique infectieuse est un produit des interactions multiples entre ces composantes. À Strasbourg, la densité des rats et la proximité avec les infrastructures anthropiques (poubelles, égouts) favorisent la diffusion uniforme de pathogènes, alors qu'à Lomé, la diversité des hôtes rongeurs et l'influence des ressources naturelles (points d'eau, végétation) génèrent une structuration hétérogène des infections. Les co-infections observées renforcent l'idée que les systèmes monospécifiques de rongeur concentrent les risques, tandis que les systèmes multi-hôtes diversifient les trajectoires de transmission.

Ces résultats mettent en évidence la complémentarité des deux modèles étudiés et soulignent la pertinence d'une approche intégrée « One Health ». Comprendre les interactions hôte–pathogène–environnement dans des contextes urbains différenciés est indispensable pour anticiper l'émergence des zoonoses. Les enseignements de cette étude ouvrent la voie à une meilleure identification des foyers de transmission, à des stratégies de surveillance différenciées et à une meilleure préparation face aux menaces sanitaires globales.

Références : voir bibliographie de la thèse

**PARTIE III : ETUDE DE TERRAIN SUR LES VOLAILLES ET  
INVESTIGATIONS ECO-EPIDEMIOLOGIQUE DES ZAV**

## **Chapitre 8: Interactions rat–volaille–environnement et risques de transmissions croisées : Cas des élevages avicoles du Togo**

Les agents pathogènes zoonotiques identifiés chez les rongeurs dans le chapitre précédent représentent un risque potentiel non seulement pour la santé humaine, mais également pour la santé animale. Dans les systèmes de production animale, ces agents peuvent circuler entre différentes espèces partageant les mêmes environnements, favorisant l'émergence ou le maintien de foyers infectieux.

Afin de mieux comprendre ces mécanismes de transmission interspécifique, le présent chapitre analyse l'interface entre les populations de rats et de volailles dans les systèmes d'élevage avicole du Togo, un secteur à la fois stratégique pour la sécurité alimentaire et particulièrement vulnérable du point de vue sanitaire.

### **8.1 Introduction**

Les élevages avicoles familiaux et semi-commerciaux jouent un rôle majeur dans la sécurité alimentaire et les revenus domestiques dans les pays en développement (Alders & Pym, 2009 ; Gueye, 2000). Toutefois, ces systèmes restent fortement exposés aux maladies infectieuses, en raison d'une biosécurité souvent limitée, de la promiscuité entre animaux et de la présence constante de rongeurs dans les bâtiments d'élevage (Conan *et al.*, 2012).

Les rats (*Rattus spp.*) sont reconnus comme des réservoirs et vecteurs importants d'agents pathogènes zoonotiques tels que *Leptospira spp.*, *Salmonella spp.* ou *Coxiella burnetii* (Meerburg *et al.*, 2009 ; Himsworth *et al.*, 2013). Leur proximité écologique avec les volailles, notamment dans les élevages à faible niveau de biosécurité, accroît le risque de transmission croisée entre espèces (Firth *et al.*, 2014 ; Luis *et al.*, 2013). En Afrique du Sud, par exemple, *C. burnetii* a été détectée simultanément chez des poulets et des rats de ferme, suggérant des échanges infectieux inter espèces (Ramatla *et al.*, 2023).

Outre les zoonoses, certaines infections bactériennes opportunistes, telles que les mycoplasmoses ou les pasteurelloses, sont régulièrement observées dans les systèmes avicoles, et les rongeurs pourraient contribuer à leur persistance et leur diffusion (OMSA, 2020)

Pourtant, les données disponibles sur la co-circulation de pathogènes chez les rats et les volailles en Afrique de l'Ouest demeurent rares. La plupart des travaux abordent séparément la santé des volailles ou celle des rongeurs, sans prendre en compte leurs interactions au sein des systèmes agro-écologiques mixtes (Gage *et al.*, 2020 ; Morand, 2015).

Dans cette perspective, le présent chapitre vise à caractériser les interactions rat–volaille–environnement dans les élevages familiaux et semi-commerciaux du Togo, en explorant les

contextes écologiques, comportementaux et zootechniques susceptibles de favoriser la transmission croisée d'agents pathogènes.

Les travaux présentés ici ont fait l'objet d'un article scientifique (Article 4) actuellement en cours de soumission au journal *One Health*, dont le texte intégral est reproduit ci-dessous.

## 8.2 Article 4

### **Titre : Interactions rat–volaille-environnement et risques de transmissions croisées : Cas des élevages avicoles du Togo**

**To be submit to One Health Journal**

#### Résumé

Les interactions entre rats (*Rattus* spp.) et volailles constituent un enjeu sanitaire majeur dans les systèmes d'élevage à faible biosécurité, en raison des risques potentiels de transmission croisée d'agents pathogènes. Cette étude exploratoire a été conduite dans 42 élevages familiaux et semi-commerciaux répartis dans quatre régions du Togo (Maritime, Centrale, Kara et Savanes). Elle visait à (i) inventorier les maladies cliniques et les morphotypes sanguins compatibles avec différents groupes d'agents infectieux chez les rats et les volailles, (ii) comparer leurs prévalences et cooccurrences, et (iii) identifier les agents potentiellement partagés entre les deux hôtes.

Au total, 127 poulets et 10 rats ont été examinés. Chez les volailles, sept affections principales ont été observées, dominées par les infections à *Staphylococcus* spp. (33 %) et *Pasteurella* spp. (27 %). Chez les rats, cinq types de lésions majeures ont été recensés, notamment pulmonaires et hépatiques. L'analyse microscopique des frottis sanguins a révélé la présence de 14 morphotypes pathogènes chez les volailles et de 5 chez les rats, incluant des protozoaires (*Plasmodium*, *Leucocytozoon*, *Haemoproteus*), des nématodes sanguins (*Mansonella*, *Litomosoides*) et des bactéries (*Mycobacterium* spp.).

Cinq agents — *Plasmodium*, *Mansonella*, *Brugia*, *Staphylococcus* et *Pasteurella* — ont été détectés simultanément chez les rats et les volailles, suggérant un risque de transmission croisée au sein des élevages étudiés. Ces résultats constituent une première contribution à la compréhension des dynamiques pathogéniques à l'interface rat–volaille au Togo et renforcent la nécessité d'une approche intégrée « One Health » dans la surveillance sanitaire des systèmes avicoles traditionnels.

**Mots-clés :** rats, volailles, zoonoses, transmission croisée, Togo, One Health

## Introduction

Les élevages avicoles familiaux et semi-commerciaux constituent une source essentielle de revenus et de sécurité alimentaire dans de nombreux pays en développement (Alders & Pym, 2009 ; Gueye, 2000). Cependant, ces systèmes demeurent particulièrement vulnérables aux maladies infectieuses. Cette fragilité résulte notamment de la faiblesse des mesures de biosécurité, de la promiscuité entre volailles et autres animaux domestiques, ainsi que de la présence constante de rongeurs et d'autres vecteurs (Conan *et al.*, 2012). Ces interactions interspécifiques créent des conditions favorables à la circulation et à la persistance d'agents pathogènes d'origines diverses.

Parmi les rongeurs, les rats (*Rattus* spp.) occupent une place centrale dans l'épidémiologie des zoonoses. Ils sont reconnus comme réservoirs et vecteurs de nombreux agents pathogènes affectant à la fois la santé animale et humaine, tels que *Leptospira* spp., *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp. ou encore *Coxiella burnetii* (Meerburg *et al.*, 2009 ; Himsforth *et al.*, 2013 ; Morand, 2015). Leur proximité écologique avec les volailles, notamment dans les systèmes familiaux ou semi-commerciaux, accroît le risque de transmission croisée d'agents infectieux (Firth *et al.*, 2014 ; Luis *et al.*, 2013 ; Han *et al.*, 2015).

Plusieurs études ont d'ailleurs montré que les rats et les volailles peuvent partager certains pathogènes zoonotiques ou vétérinaires. En Afrique du Sud, Ramatla *et al.* (2023) ont mis en évidence la présence de *C. burnetii* à la fois chez des poulets et chez des rats capturés dans des exploitations avicoles, suggérant l'existence de voies de transmission interspécifiques. Ces observations s'inscrivent dans un continuum épidémiologique reliant faune sauvage, animaux domestiques et populations humaines — un contexte propice à l'émergence de nouvelles zoonoses (Morand, 2015 ; Han *et al.*, 2015).

Outre les zoonoses à transmission vectorielle ou environnementale, plusieurs maladies respiratoires aviaires constituent également une menace majeure dans ces systèmes. En particulier, les mycoplasmoses et les infections dues à *Pasteurella multocida* ou *Staphylococcus* spp. représentent des contraintes sanitaires importantes pour les élevages, qu'ils soient traditionnels ou commerciaux (Kleven, 2008 ; Chidiebere *et al.*, 2021 ; Mghiry *et al.*, 2024). Les rongeurs, en raison de leur grande plasticité écologique et de leurs contacts répétés avec les volailles, pourraient jouer un rôle dans l'entretien et la dissémination de ces agents pathogènes (Stenseth *et al.*, 2003).

Pourtant, les données disponibles sur la circulation simultanée d'agents infectieux chez les rats et les volailles en Afrique de l'Ouest demeurent très limitées. La majorité des travaux antérieurs

se sont concentrés soit sur la santé aviaire, soit sur les populations de rongeurs urbains, sans aborder directement leur interface dans les systèmes d'élevage villageois ou semi-commerciaux (Gage *et al.*, 2020). Peu d'études ont combiné le piégeage de rats, les autopsies, les examens cliniques de volailles et l'observation microscopique des pathogènes dans un même cadre épidémiologique. Cette lacune entrave la compréhension des dynamiques d'infection à l'interface rat-volaille-environnement et complique l'élaboration de stratégies de prévention adaptées aux réalités locales.

La présente étude s'inscrit dans cette perspective et vise à mieux comprendre les interactions entre rats et volailles dans les systèmes d'élevage togolais, ainsi que les risques potentiels de transmission croisée d'agents infectieux. Plus précisément, elle poursuit trois objectifs : (i) inventorier les maladies cliniques et les morphotypes sanguins compatibles avec différents groupes d'agents infectieux chez les volailles et chez les rats présents dans les élevages étudiés ; (ii) comparer la prévalence apparente et les cooccurrences de ces agents infectieux entre les deux hôtes ; (iii) identifier les agents pathogènes potentiellement partagés entre rats et volailles, susceptibles d'indiquer un risque de transmission croisée.

Les résultats, discutés dans une approche « One Health », constituent une étape préliminaire avant confirmation moléculaire (PCR, séquençage) destinée à affiner l'identification taxonomique et à mieux évaluer les risques sanitaires.

## **Matériel et Méthodes**

### **Considérations éthiques**

L'étude a été conduite conformément aux standards éthiques nationaux et institutionnels, ainsi qu'aux directives du Ministère français de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (accord d'approbation APAFIS #34416-2021112911335464 v7). Le consentement éclairé des éleveurs a été obtenu préalablement à toute intervention sur les animaux.

### **Zone d'étude**

L'étude s'est déroulée dans quatre régions du Togo : Maritime, Centrale, Kara et Savanes (voir description détaillée au chapitre 5). Ces régions ont été sélectionnées en raison de la présence historique de foyers de la maladie de Newcastle (2005–2009), de la densité des élevages familiaux et semi-commerciaux, ainsi que de cas sporadiques de grippe aviaire (2007–2008) signalés dans les rapports de surveillance des maladies animales (OIE, 2019 ; FAO, 2020).

### **Échantillonnage des volailles, prélèvements et préparation des lames**

Deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées : de septembre à novembre 2023, puis d'août à octobre 2024. Au total, quarante-deux élevages ont été visités (Savanes : n=12 ; Kara : n=10 ; Centrale : n=8 ; Maritime : n=12), soit un total de 127 poulets locaux échantillonnés.

Une approche stratifiée a été utilisée, chaque strate correspondant à un poulailler (familial ou semi-commercial). La sélection des sites s'est faite en collaboration avec des auxiliaires de santé communautaire (ASC) et des auxiliaires vétérinaires d'élevage (AVE), selon la taille du cheptel et la présence de poulets élevés en divagation ou semi-divagation.

Les villages retenus étaient espacés d'au moins 2 km afin de refléter l'hétérogénéité spatiale des élevages.

Les visites ont eu lieu tôt le matin (6 h), avant la sortie des volailles. Les éleveurs ont été informés des objectifs de l'étude et leur consentement recueilli à la veille. Un questionnaire standardisé (voir annexe 5) a permis de collecter des informations sur les pratiques d'élevage et les conditions sanitaires locales.

Chaque volaille a été sexée, pesée ( $\pm 1$  g) et mesurée (longueur des tarses, crête, barbillons, en cm) pour estimer l'âge. Un identifiant unique a été attribué à chaque individu (ex. ALM5G1). Les coordonnées GPS de chaque élevage ont été enregistrées à l'aide d'un GPS portable (Garmin ETREX 10).

La recherche d'agents pathogènes circulant chez les poulets locaux a été effectuée par analyse sanguine. Le sang aviaire peut contenir divers agents pathogènes, notamment des virus, bactéries, rickettsies, protozoaires, microfilaires et champignons (Van Wettere & Hauck, 2020). Pour chaque volaille, le sang a été prélevé par piqûre de la veine alaire à l'aide d'une seringue de 2 ml après désinfection. Le sang a été recueilli dans des tubes capillaires héparinés. Une goutte ( $\approx 50$   $\mu$ L) a été déposée sur une lame de microscope, étalée à l'aide d'une lamelle, puis séchée à l'ombre pendant environ deux minutes. Les lames ont ensuite été colorées avec le kit RAL 555 (variante rapide de May-Grünwald Giemsa) pendant deux minutes, séchées trois minutes, puis conservées dans des boîtes hermétiques en attendant la lecture. Deux lames ont été préparées par individu.

Les précautions suivantes ont été systématiquement appliquées : (i) utilisation d'une aiguille neuve pour chaque volaille ; (ii) désinfection du site de ponction ; (iii) application d'un coton sur la zone de ponction pour stopper l'écoulement sanguin avant de relâcher l'animal.

Enfin, un recensement des signes cliniques compatibles avec différentes affections a été effectué dans chaque poulailler.

### **Échantillonnage des rats, prélèvements et préparation des lames**

Parallèlement à l'échantillonnage des volailles, deux campagnes de piégeage des rats ont été menées dans les poulaillers : de septembre à novembre 2023, puis d'août à octobre 2024. Quarante-deux élevages ont été visités. Compte tenu du nombre élevé de sites, la durée de piégeage dans chaque poulailler a été limitée à une semaine.

Lors de la première phase, un piège artisanal a été testé sans succès, puis remplacé par des pièges Hénon®, qui ont permis la capture de 10 individus. Seuls les élevages de la région Maritime ont permis la capture de rats, pour un effort cumulé de 168 nuits-pièges.

Les pièges ont été appâtés avec des pâtes d'arachide et du pain, et disposés le long des murs, à l'abri des volailles. Le piégeage s'est déroulé pendant cinq nuits consécutives, avec vérification quotidienne le matin. Les pièges étaient activés chaque soir à 18 h, après l'entrée des volailles. Selon la taille des installations, un ou deux pièges étaient installés par site. Chaque capture entraînait le remplacement immédiat du piège par un autre appâté de manière identique.

Les rongeurs capturés ont été ramenés vivants au laboratoire, anesthésiés à l'isoflurane, identifiés au niveau de l'espèce (Monadjem *et al.*, 2015), puis pesés ( $\pm 0,01$  g), sexés et euthanasiés par dislocation cervicale conformément aux protocoles éthiques en vigueur.

Un prélèvement sanguin a été effectué immédiatement après euthanasie, dans des tubes capillaires héparinés, pour la réalisation de frottis sanguins colorés au kit RAL 555, selon la même méthode que pour les volailles. Après examen externe, les individus ont été disséqués aseptiquement pour l'observation des organes internes. Les carcasses ont ensuite été conservées à  $-20$  °C pour des analyses complémentaires.

### **Analyse microscopique**

Les frottis sanguins ont été examinés au microscope optique (OMAX, objectifs 4× à 100×, immersion), équipé d'une caméra numérique. L'identification des agents pathogènes s'est appuyée sur des clés taxonomiques spécialisées (Valkiūnas & Iezhova, 2018 ; Binkienė *et al.*, 2021 ; Svobodová *et al.*, 2023). Les observations ont permis de recenser les morphotypes compatibles avec différents groupes d'agents pathogènes (protozoaires, nématodes, bactéries, champignons).

Compte tenu des limites de la microscopie optique, ces identifications doivent être considérées comme exploratoires et nécessitent une confirmation moléculaire par PCR et séquençage.

### **Analyse statistique**

Toutes les analyses ont été réalisées sous R 4.5.1 (R Core Team, 2025) et RStudio (2025). Des analyses descriptives ont permis d'explorer les prévalences et les cooccurrences des pathogènes entre rats et volailles. Les détails complémentaires des analyses statistiques sont présentés dans le chapitre 5.

## Résultats

### Communautés de rongeurs capturés

Au total, dix individus de rats ont été capturés pour un effort cumulé de 168 nuits-pièges. Toutes les captures ont été réalisées dans la région Maritime. Ces individus appartenaient à deux espèces : *Rattus rattus* (80 %, n = 8) et *Rattus norvegicus* (20 %, n = 2).

Dans les mêmes élevages, douze volailles ont été examinées et quinze cas présentant des signes cliniques compatibles avec diverses affections ont été recensés. Cette première observation indique une cohabitation écologique étroite entre rats et volailles, propice à d'éventuelles transmissions croisées d'agents pathogènes.



Photo 13: Espèces de rats détectées dans les poulaillers

*Rattus norvegicus* (A), *Rattus rattus* (B) (photos personnelles)

### Inventaire des maladies et des morphotypes pathogènes

#### Chez les volailles

Le recensement clinique a mis en évidence sept affections principales (Tableau 18). Les plus fréquentes étaient la staphylococcie aviaire (*Staphylococcus* spp., 33 %) et la pasteurellose aviaire (*Pasteurella multocida*, 27 %). Les maladies les moins observées étaient la gale, la variole et la salmonellose aviaire, chacune représentant 6,7 % (n = 1). Le test du chi-deux n'a révélé aucune différence significative dans la distribution des incidences de ces maladies ( $\chi^2 = 3,4$  ; ddl = 6 ; p = 0,77), suggérant une répartition relativement homogène des affections cliniques dans la population étudiée.

Tableau 17: Affections recensées chez les volailles des élevages infestés par les rats au Togo

Nb. Recensé	Maladie	Agent impliqué	Zoonose
15	Colibacilloses 1 (6,67%)	E. coli	oui
	Salmonellose aviaire 1 (6,67%)	Salmonella spp	oui
	Variolose aviaire 1 (6,67%)	Avipoxvirus	non
	Gale 1 (6,67%)	Knemidoscoptes spp	acarien
	Pasteurellose 4 (26,67%)	Pasteurella spp	oui
	Laryngotracheite infectieuse 2 (13,33%)	GaHV-1	non
	Staphylococcie aviaire 5 (33,33%)	Staphylococcus spp	oui

Confère détaille en annexe 3

### Chez les rats

L'autopsie post-mortem des dix rats capturés a révélé cinq types de lésions pathologiques (Tableau 19). Les plus fréquentes concernaient les lésions pulmonaires (20 %), de type consolidation pulmonaire cranio-ventrale et pleurésie (CPCV), classiquement décrites en élevage porcin et souvent associées à *Mycoplasma hypopneumoniae*, *Bordetella bronchiseptica*, *Pasteurella multocida* ou à des virus influenza porcins (Photo 14).

D'autres affections, chacune observée à 10 %, incluaient :

- des abcès génitaux liés à *Staphylococcus* spp. ;
- un œdème des membres, compatible avec une infection à poxvirus ;
- une lymphadénite cervicale associée à *Streptococcus zooepidermicus* ;
- une hépatite granulomateuse (plaque blanchâtre dure sur le foie) compatible avec *Strobilocercus fasciolaris*.

Le test du chi-deux n'a pas mis en évidence de différence significative entre les fréquences observées ( $\chi^2 = 0,37$  ; ddl = 4 ; p = 0,89), suggérant une distribution homogène des prévalences.

Tableau 18: Maladies détectées chez les rats des fermes d'élevage

Nb. Examiné	Autopsie externe et interne		
	Infections/infestations	Sites de prédilections	Zoonose
10	Ectromélie (Mousepoxivirus) 1 (10%)	Membres supérieur	non
	Streptococcus zooepidemicus 1 (10%)	Cou	oui
	Staphylococcus spp 1 (10%)	Appareil génital	oui
	Strobilocercus fasciolaris 1 (10%)	Foie	oui
	Pasteurella spp 2 (20%)	Poumons	oui
	Tiques 6	Corps	Ectoparasite



Photo 14 : Lésions pathologiques chez les rats

Lésions de consolidation pulmonaire cranio-ventrale (CPCV) et de la pleurésie chez les rats noir (*Rattus rattus*) capturés dans les poulaillers (Photo personnelle)

### Analyse microscopique

Chez les volailles, l'analyse microscopique de 12 frottis sanguins a révélé 14 morphotypes pathogènes appartenant à trois groupes (Tableau 20) :

- Nématodes sanguins (7 morphotypes, ex. *Mansonella* spp., *Splendidofilaria* spp.) (Photo 15);
- Protozoaires (6 morphotypes, ex. *Plasmodium* spp., *Leucocytozoon* spp., *Haemoproteus* spp., *Babesia* spp.) ;
- Bactéries (1 morphotype, bacilles compatibles avec *Mycobacterium* spp.).

Aucune différence significative n'a été détectée dans la distribution des prévalences de ces morphotypes ( $\chi^2 = 10,38$  ; ddl = 13 ; p = 0,71), suggérant une diversité relativement équilibrée des infections au sein de la population aviaire.

Tableau 19: Morphotypes d'agents pathogènes détectés dans le sang des poulets locaux (Togo)

Nb. Examiné	Examens microscopiques		
	Agent détecté	Taux d'infection au microscope	Zoonose
12	Brugia spp	3 (25%)	oui
	Mansonella spp	5 (41,67%)	oui
	Loa spp	1 (8,33%)	oui
	Plasmodium spp	6 (50%)	oui
	Babesia spp	1 (8,33%)	oui
	Leishmania spp	2 (16,67%)	oui
	Toxoplasma spp	1 (8,33%)	oui
	Mycobacterie	1 (8,33%)	oui
	Leucocytozoon spp	5 (41,67%)	non
	Haemoproteus spp	4 (33,33%)	non
	Dipetalonema spp	3 (25%)	oui
	Cardiofilaria spp	2 (16,67%)	non
	Splendidofilaria spp	4 (33,33%)	non
	Eufilaria spp	2 (16,67%)	non

Confère détails en annexe 4

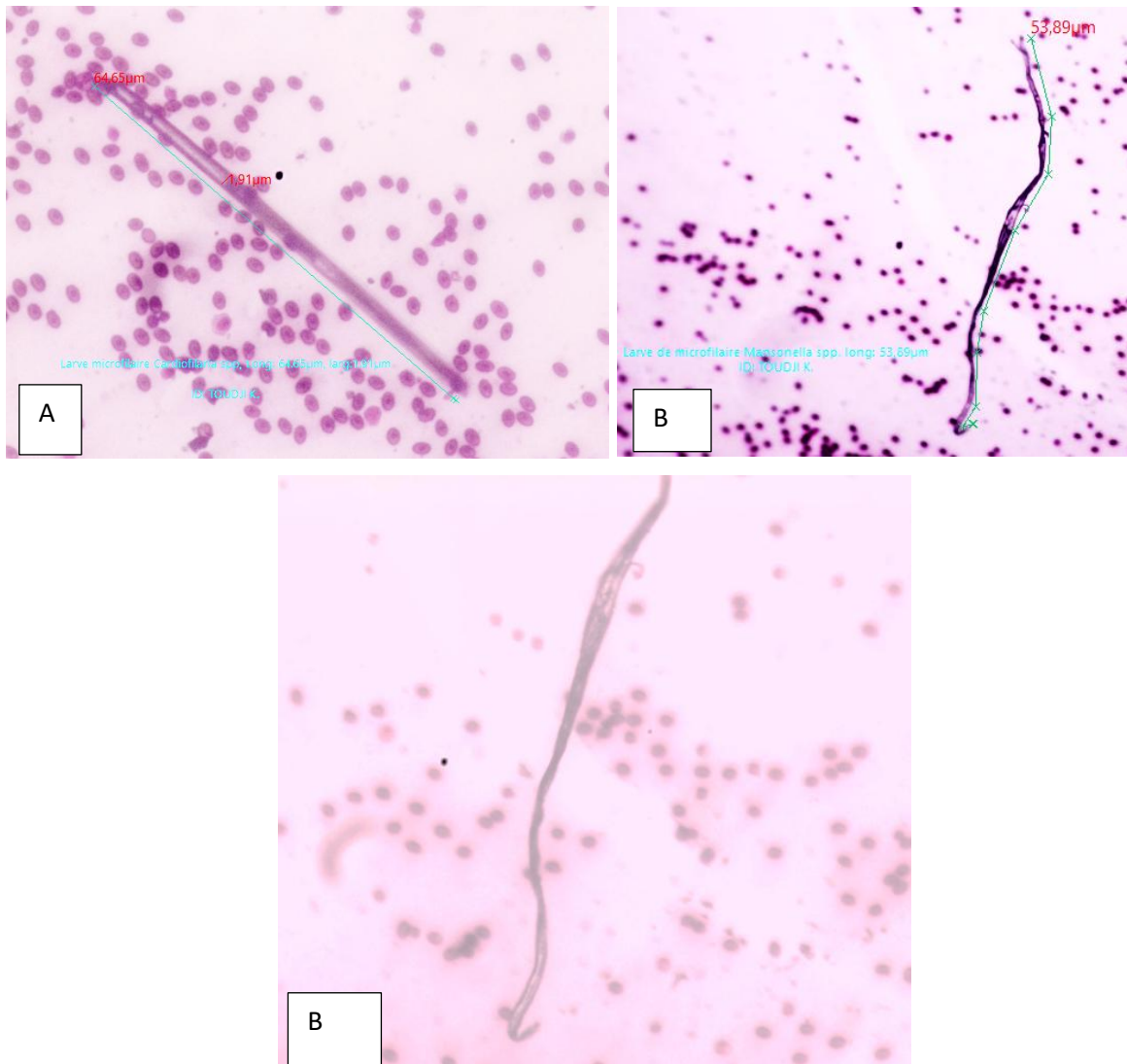


Photo 15: Vue d'ensemble de la microfilaire chez les volailles

A : *Cardiofilaria* spp au 10x", B : *Mansonella* spp au 4x" et au 10x", (à extrémité postérieure recourbée sous forme de parapluie) (photos personnelles)

Chez les rats, l'analyse microscopique de dix frottis sanguins a révélé cinq morphotypes pathogènes :

- des nématodes sanguins (4 morphotypes, ex. *Litomosoides* spp., *Mansonella* spp.) (Photo 16);
- un protozoaire du genre *Plasmodium* spp. ;
- et quelques micro-organismes indéterminés dont les caractéristiques morphologiques ne permettaient pas une identification certaine (Tableau 21).

Là encore, le test du chi-deux n'a pas montré de différence significative entre les morphotypes détectés ( $\chi^2 = 2,16$  ; ddl = 4 ; p = 0,80).

Tableau 20: Morphotypes d'agents pathogènes détectés dans le sang des rats des fermes d'élevage (Togo)

Nb. Examiné	Examens au microscope optique (100x)		
	Agent détecté	Taux d'infection au microscope	Zoonose
10	Litosomoïdes spp	4 (57,14%)	oui
	Dirofilaria spp	2 (28,57%)	oui
	Brugia spp	1 (14,28%)	oui
	Mansonella spp	2 (28,57%)	oui
	Plasmodium spp	3 (42,85%)	non
	Indéterminé	Nombreux	

Confère détaillies en annexe 5

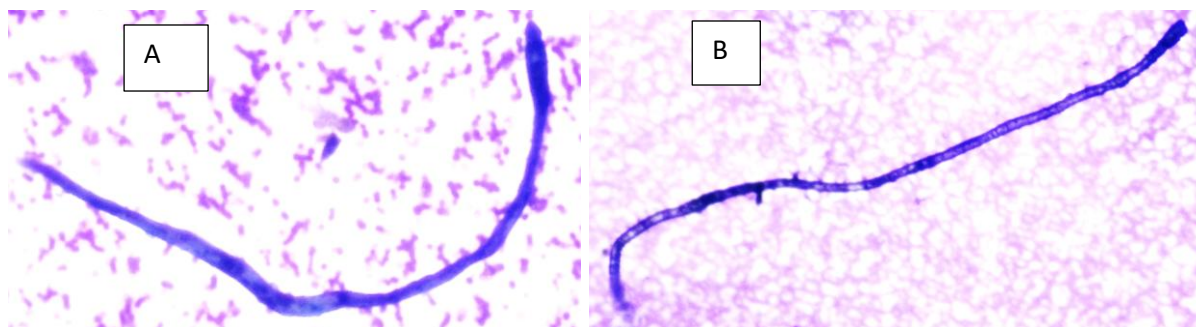


Photo 16: Vue d'ensemble de la microfilaire chez les rats

A : *Litosomoïdes* spp au 10x", B : *Mansonella* spp au 10x" (Photos personnelles)

Ces observations suggèrent l'existence d'une diversité d'affections et d'agents pathogènes sanguins comparables entre rats et volailles, bien que la richesse spécifique observée soit légèrement plus élevée chez les volailles.

## Structure spatiale et co-infections des pathogènes

### a-Structure spatiale des infections

L'analyse des occurrences moyennes des agents infectieux a montré une variation des fréquences entre taxons et espèces dans le système d'élevage étudié (Figure 44).

Chez les volailles, les agents infectieux les plus fréquents étaient :

- *Plasmodium* spp. (50 %) ;
- *Staphylococcus* spp. et *Leucocytozoon* spp. (20 % chacun).

Chez les rats, six morphotypes principaux ont été détectés, parmi lesquels *Plasmodium* spp. et *Litosomoïdes* spp., avec des fréquences variant de 0 à 50 % selon l'espèce. L'analyse

multivariée (PERMANOVA) a confirmé une hétérogénéité significative dans la distribution des profils pathogènes entre espèces (Pseudo-F = 1,83 ; ddl = 2 ; p = 0,023).

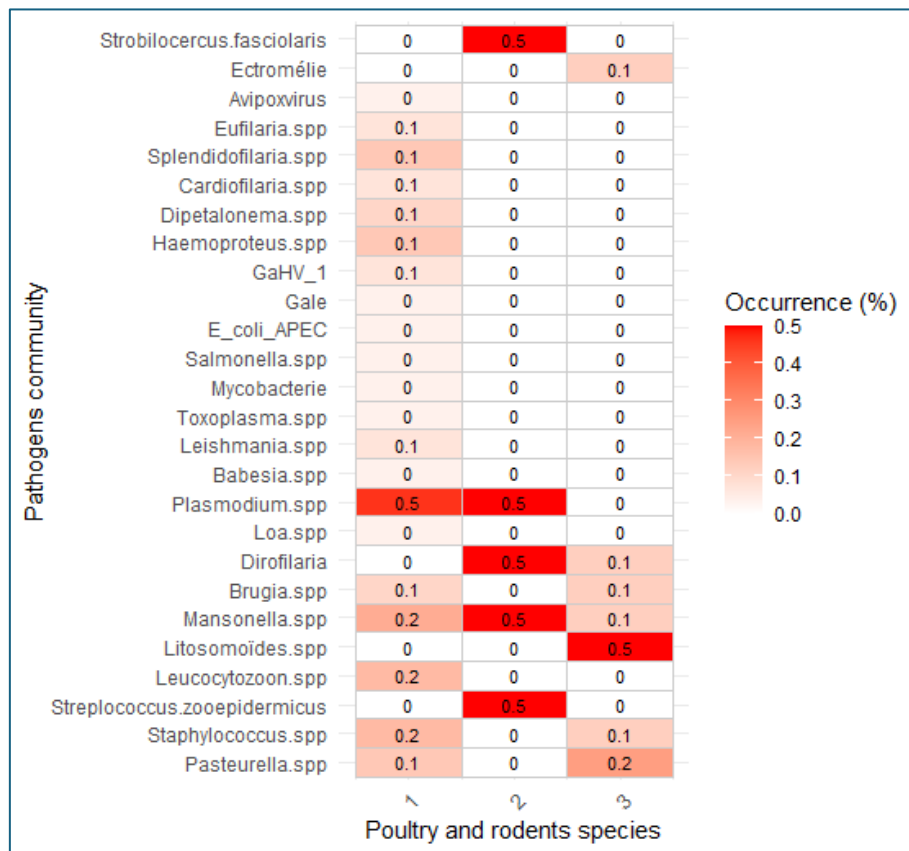


Figure 44: Occurrence moyenne des communautés d'agents pathogènes détectés chez les rats et les poulets

L'axe des ordonnées montre les agents pathogènes détectés. L'axe des abscisses montre le code numérique des espèces (1 : *Gallus gallus domesticus*, 2 : *R. norvegicus*, 3 : *R. rattus*) ; l'intensité de la coloration reflète la proportion d'individus infectés (occurrence relative), prévalence allant de 0 % (blanc) à 100 % (rouge foncé).

### b-Co-infections

La régression logistique pondérée, basée sur le nombre d'individus infectés et la diversité spécifique des pathogènes, a révélé des différences marquées de co-infections (Figure 45A) :

- Les volailles présentaient la fréquence la plus élevée (26,1 % des individus hébergeaient plusieurs pathogènes simultanément) ;
- *Rattus norvegicus* montrait une faible proportion (4,4 %) d'individus co-infectés (2 à 3 agents) ;
- *Rattus rattus* présentait une co-infection modérée (13,1 %, deux agents simultanés).

Les volailles hébergeaient plusieurs pathogènes simultanément. Cependant, la fréquence de co-infection n'était pas corrélée à la diversité spécifique des agents pathogènes ( $r = 0,25$  ; ddl = 1 ;  $t = 0,26$  ;  $p = 0,83$ ). La diversité spécifique des agents pathogènes ne diffère pas significativement entre espèces (Kruskal-Wallis chi-squared = 1.08, df = 2,  $p = 0,58$ ). (Figure 45B). Cette tendance suggère que les espèces hébergeant davantage de pathogènes présentent une forte diversité intra-hôte, traduisant une possible spécialisation des infections.

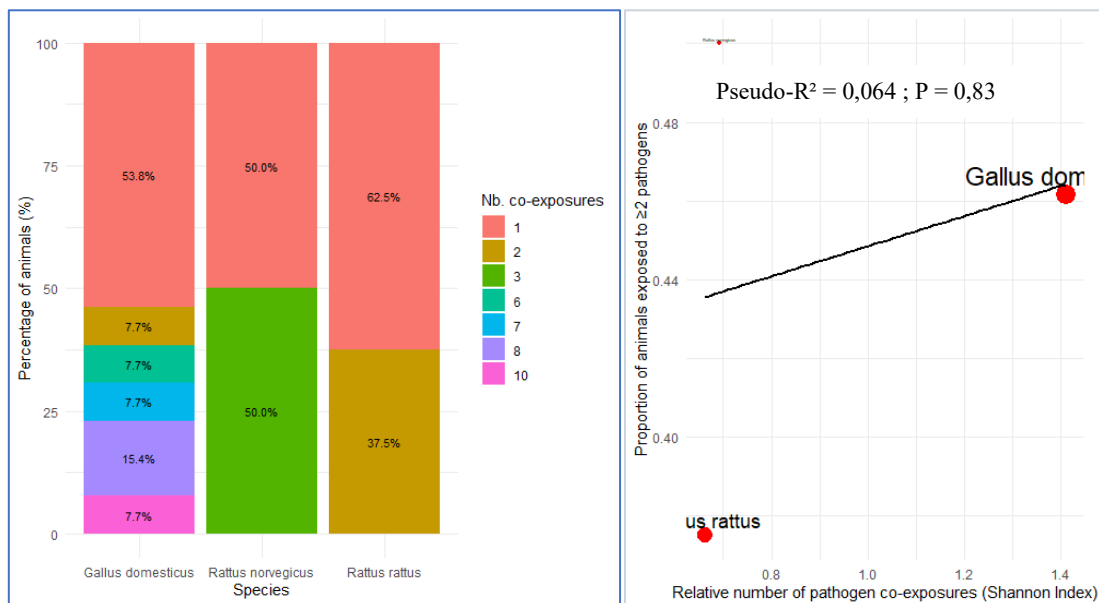


Figure 45: Co-infections d'agents pathogènes chez les poulets et les rats des fermes

### Agents pathogènes potentiellement partagés entre rats et volailles

L'analyse des cooccurrences a mis en évidence cinq agents pathogènes présents simultanément chez les rats et les volailles :

- *Plasmodium* spp. : 50 % chez les deux hôtes ;
- *Pasteurella* spp. : 10 % chez les volailles et 20 % chez *Rattus rattus* ;
- *Staphylococcus* spp. : 20 % chez les volailles et 10 % chez *Rattus rattus* ;
- *Mansonella* spp. : 20 % chez les volailles et 10–50 % chez les rats selon l'espèce ;
- *Brugia* spp. : 10 % chez les deux hôtes.

Ces observations suggèrent l'existence de réservoirs partagés et d'une possible circulation bidirectionnelle de certains pathogènes à l'interface rat–volaille, justifiant des analyses moléculaires ultérieures pour confirmer la nature des agents impliqués et évaluer leur potentiel zoonotique.

## Discussion

Cette étude visait à explorer les interactions entre rats, volailles et environnements dans les systèmes d'élevage familiaux et semi-commerciaux du Togo, afin d'évaluer les risques de transmission croisée d'agents pathogènes.

Elle a permis d'obtenir les premiers éléments de caractérisation des maladies et morphotypes infectieux partagés entre ces deux hôtes, dans un contexte de production à faible biosécurité.

### Diversité des maladies et morphotypes pathogènes

Les analyses cliniques et microscopiques ont révélé une diversité notable d'agents pathogènes chez les volailles comme chez les rats. Chez les poulets, les affections les plus fréquentes concernaient *Staphylococcus* spp. et *Pasteurella* spp., deux bactéries déjà bien documentées dans les élevages avicoles traditionnels d'Afrique de l'Ouest (Chidiebere *et al.*, 2021 ; Mghiry *et al.*, 2024). Chez les rats, les lésions observées, notamment pulmonaires et hépatiques sont comparables à celles décrites dans d'autres études sur *Rattus rattus* et *R. norvegicus* (Stenseth *et al.*, 2003), confirmant leur rôle de réservoir potentiel de multiples agents pathogènes. L'inventaire microscopique a également mis en évidence la présence de protozoaires hématophages tels que *Plasmodium*, *Leucocytozoon* et *Haemoproteus* chez les volailles, ainsi que *Plasmodium* et *Mansonella* chez les rats. Ces résultats confirment la coexistence de plusieurs taxons d'agents infectieux dans un même environnement et suggèrent la possibilité d'un partage d'écosystèmes parasites entre hôtes synanthropes. Bien que la microscopie ne permette pas une identification spécifique, la diversité des morphotypes observés constitue une base importante pour de futures investigations moléculaires.

Les analyses comparatives des prévalences et des cooccurrences ont révélé une fréquence élevée de *Plasmodium* spp. dans les deux hôtes ( $\approx 50\%$ ) et une présence concomitante de *Mansonella* spp. et *Staphylococcus* spp. soulignant des cooccurrences notables à l'interface rat-volaille. Ces observations appuient l'hypothèse selon laquelle certains agents pathogènes pourraient circuler dans un réseau épidémiologique partagé, impliquant à la fois les volailles domestiques, les rongeurs et les insectes vecteurs (Firth *et al.*, 2014 ; Han *et al.*, 2015). La PERMANOVA a mis en évidence une hétérogénéité significative de la composition infectieuse entre espèces, confirmant que les profils pathogéniques diffèrent selon l'hôte. Cependant, la présence simultanée de plusieurs agents communs suggère que la proximité écologique et les conditions de promiscuité favorisent la persistance d'un pool infectieux interspécifique.

Les analyse de co-infection et de co-circulation des agents pathogènes ont révélé une fréquence relativement élevée de co-infections chez les volailles (26,1 %), traduisant une pression

infectieuse importante et une immunocompétence possiblement réduite en conditions d'élevage extensif. En revanche, les co-infections observées chez les rats restent plus faibles (13 % chez *R. rattus* et 4 % chez *R. norvegicus*) dans ce milieu, mais leur présence témoigne de la complexité des interactions multi-agents dans ces élevages à bas niveau de biosécurité.

La corrélation négative révélée entre fréquence de co-infection et diversité spécifique suggère qu'un faible nombre d'espèces hôtes peut concentrer plusieurs infections, tandis qu'une diversité plus élevée dilue ces interactions — un phénomène parfois décrit comme "effet de dilution" (Ostfeld & Keesing, 2012).

Même si les différences entre espèces ne sont pas statistiquement significatives due à la taille des échantillons, la tendance observée traduit une exposition plus constante des volailles aux pathogènes, probablement en raison de leur densité et de la contamination environnementale.

### **Identification des agents potentiellement partagés et implications sanitaires**

Cinq agents pathogènes ont été détectés simultanément chez les rats et les volailles : *Plasmodium*, *Pasteurella*, *Staphylococcus*, *Mansonella* et *Brugia*.

La coexistence de ces agents chez deux hôtes cohabitant dans les mêmes structures d'élevage suggère un potentiel de transmission croisée, directe ou indirecte (via l'environnement, les vecteurs ou les contacts physiques).

*Staphylococcus* spp. et *Pasteurella* spp., identifiés chez les deux espèces, sont particulièrement importants car ils peuvent causer des infections respiratoires et cutanées aussi bien chez les oiseaux que chez les mammifères.

De même, la détection de *Plasmodium* et *Mansonella* chez les deux hôtes indique une circulation possible de parasites hématophages dans le même microenvironnement.

Ces observations rejoignent celles de Ramatla *et al.* (2023) en Afrique du Sud, qui ont mis en évidence la présence concomitante de *Coxiella burnetii* chez les rats et les volailles dans des contextes similaires.

Sur le plan sanitaire, ces résultats renforcent la nécessité d'une approche One Health intégrant la surveillance simultanée des populations animales et de leurs réservoirs potentiels.

Les rongeurs, en raison de leur mobilité et de leur plasticité écologique, peuvent constituer un maillon essentiel dans la persistance et la diffusion d'agents pathogènes dans les élevages familiaux et semi-commerciaux.

### **Limites et perspectives**

Cette étude reste exploratoire et comporte plusieurs limites : (i) la taille modeste des échantillons, liée à la difficulté de capture des rats à l'intérieur du poulailler ; (ii) la nature morphologique des identifications, qui nécessite une confirmation par PCR et séquençage ; (iii) l'absence d'analyse des facteurs environnementaux (densité animale, hygiène, structure des bâtiments), qui pourraient influencer la distribution des pathogènes.

Malgré ces limites, les résultats fournissent une base scientifique inédite au Togo pour la compréhension des dynamiques pathogéniques à l'interface rat-volaille.

Ils ouvrent la voie à des études complémentaires combinant analyses moléculaires, typage phylogénétique et suivi saisonnier des populations animales.

### **Conclusion partielle**

Les résultats obtenus confirment que les rats et les volailles cohabitent dans les systèmes d'élevages familiaux et semi-commerciaux peuvent héberger plusieurs agents pathogènes similaires, suggérant un risque potentiel de transmission croisée.

Les données obtenues, bien qu'exploratoires, soulignent l'importance d'une surveillance intégrée des pathogènes zoonotiques dans une approche « One Health », incluant les interactions entre faune synanthrope, animaux domestiques et environnement.

Références : voir bibliographie de la thèse

## **Chapitre 9: Interaction hôte-pathogène-environnement : cas des poulets locaux d'élevages avicoles du Togo**

### **9.1 Introduction**

La volaille domestique, en particulier le poulet (*Gallus gallus domesticus*), joue un rôle majeur dans la sécurité alimentaire et l'économie rurale mondiale (Alders & Pym, 2009). Source importante de protéines animales et de revenus, elle contribue à l'autonomisation et à la résilience des ménages ruraux (Gueye, 2000). Au Togo, comme dans de nombreux pays voisins, l'aviculture familiale et semi-commerciale représente une activité stratégique aux fonctions économiques, sociales et culturelles (Poncet *et al.*, 2022).

Cependant, ces systèmes sont exposés à de nombreux agents pathogènes compromettant leur productivité et leur durabilité. Parmi eux figurent des virus (influenza aviaire, maladie de Newcastle), des bactéries entériques (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli*) et divers parasites protozoaires et helminthes (Adene & Oguntade, 2006 ; Behravesh *et al.*, 2014 ; Bagnol *et al.*, 2013). Certains présentent un potentiel zoonotique, constituant ainsi une menace pour la santé animale et humaine.

Ces pathogènes illustrent la forte interconnexion entre élevages, faune sauvage et environnement, rendant nécessaire une approche intégrée. En Afrique de l'Ouest, plusieurs études ont décrit la présence d'hémoparasites aviaires tels que *Plasmodium*, *Haemoproteus* et *Leucocytozoon*, fréquemment observés chez les volailles villageoises au Ghana, au Bénin ou en Côte d'Ivoire (Nyaga, 2007 ; Rault *et al.*, 2020). Ces infections, au-delà de leurs effets sur la santé des poulets, traduisent la circulation vectorielle dans des milieux riches en moustiques et simulies.

Malgré ces travaux, la diversité des agents infectieux chez les poulets villageois demeure peu connue au Togo. Les études existantes, centrées sur quelques pathologies majeures, ne permettent pas une vision globale. Ce chapitre vise ainsi à analyser comment les pratiques avicoles et l'environnement influencent les interactions hôte-pathogène-environnement, à partir d'une caractérisation exploratoire des agents pathogènes présents dans les élevages togolais.

Les travaux réalisés dans ce contexte ont fait objet d'un article (article 5) en cours de soumission au journal *Veterinary Parasitology* dont le texte intégral est présenté ci-dessous

## 9.2 Article 5

### **Titre : Interaction hôte-pathogène-environnement : cas des poulets locaux d'élevages avicoles du Togo**

To be submit to *Veterinary Parasitology*

#### Résumé

Les systèmes avicoles familiaux et semi-commerciaux jouent un rôle essentiel dans les moyens de subsistance ruraux en Afrique de l'Ouest, mais demeurent fortement exposés aux maladies infectieuses et zoonotiques. Entre 2023 et 2024, l'étude dans 42 exploitations avicoles (familiales et semi-commerciales) réparties dans quatre régions écologiques du Togo, a permis de recenser 14 maladies chez 95 volailles et analyser 67 échantillons sanguins des poulets. L'objectif était d'analyser comment les pratiques avicoles et l'environnement influencent les interactions hôte-pathogène-environnement chez les poulets des systèmes avicoles du Togo.

Une hétérogénéité marquée dans la distribution des affections cliniques a été observée et coryza aviaire (*Avibacterium paragallinarum*) a été la plus fréquente. L'examen microscopique des frottis sanguins fins et épais a permis d'identifier 29 morphotypes compatibles avec des protozoaires (*Plasmodium spp.*, *Haemoproteus spp.*, *Trypanosoma spp.*), des nématodes (*Onchocerca spp.*, *Mansonella spp.*), des bactéries (*Campylobacter spp.*, bacilles de type *Mycobacterium*) et des champignons (*Histoplasma spp.*). La distribution des pathogènes variait significativement entre les sites ( $\chi^2 = 161,86$  ;  $p < 0,001$ ), et les co-infections étaient fréquentes, positivement corrélées à la diversité locale des pathogènes ( $R^2 = 0,91$  ;  $p = 0,046$ ). L'analyse canonique (CCA) a montré des associations entre la pluviométrie et *E. coli*, la couverture végétale et *Campylobacter spp.*, ainsi que la température et *Trypanosoma spp.*

Ces résultats mettent en évidence une grande diversité pathogénique et une forte hétérogénéité spatiale chez les poulets locaux, façonnées par les gradients environnementaux et les pratiques d'élevage. L'étude souligne la perméabilité écologique des systèmes avicoles familiaux et la nécessité de renforcer la surveillance intégrée dans une approche *One Health* en Afrique de l'Ouest.

Mots-clés : Poulets locaux ; Hémoparasites ; Co-infections ; Éco-épidémiologie ; One Health ; Togo.

## Introduction

La volaille domestique, en particulier le poulet (*Gallus gallus domesticus*), joue un rôle majeur dans la sécurité alimentaire et l'économie rurale mondiale (Alders & Pym, 2009). Source importante de protéines animales et de revenus, elle contribue à l'autonomisation et à la résilience des ménages ruraux (Gueye, 2000). Au Togo, comme dans de nombreux pays, l'aviculture familiale et semi-commerciale s'impose ainsi comme une activité stratégique, combinant fonctions économiques, sociales et culturelles (Poncet *et al.*, 2022).

Toutefois, ces systèmes avicoles sont confrontés à une diversité d'agents pathogènes qui limitent leur productivité et menacent leur durabilité. Les principales menaces incluent des virus tels que l'influenza aviaire et la maladie de Newcastle, des bactéries entériques (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli*), mais aussi une grande variété de parasites protozoaires et helminthes (Adene & Oguntade, 2006 ; Behravesh *et al.*, 2014 ; Bagnol *et al.*, 2013). Plusieurs de ces agents présentent un potentiel zoonotique, exposant non seulement les volailles mais aussi les communautés humaines. Leur circulation dans les élevages représente ainsi un enjeu majeur de santé publique et de santé animale.

Ainsi, au-delà de leur impact direct, ces pathogènes traduisent une forte interaction entre élevages, faune sauvage et environnement, ce qui renforce l'intérêt de s'appuyer sur les connaissances régionales existantes. Dans la sous-région ouest-africaine, plusieurs études se sont concentrées sur les hémoparasites aviaires tels que *Plasmodium*, *Haemoproteus* et *Leucocytozoon*, fréquemment signalés chez les volailles villageoises au Ghana, au Bénin ou en Côte d'Ivoire (Nyaga, 2007 ; Rault *et al.*, 2020). Ces infections parasitaires ne se limitent pas à affaiblir la santé des poulets : elles constituent également des indicateurs de la circulation vectorielle dans des environnements où moustiques et simuliés sont abondants.

Malgré ces connaissances, la diversité globale des agents infectieux circulant chez les poulets villageois reste très peu documentée au Togo. La plupart des travaux menés jusqu'ici se sont focalisés sur des pathologies ciblées, notamment l'influenza aviaire ou la maladie de Newcastle, sans offrir une vision intégrée des agents pathogènes présents. Cette absence de données constitue un frein pour évaluer de manière fiable les risques sanitaires et zoonotiques liés aux élevages villageois, et empêche de concevoir des mesures de biosécurité adaptées aux réalités locales.

Dans ce contexte, l'examen microscopique du sang constitue un outil de première intention permettant d'obtenir un aperçu de la diversité des agents pathogènes. Bien que limité en spécificité et en sensibilité, il peut servir de méthode exploratoire pour cartographier la présence

de différents morphotypes et orienter la sélection de cibles pour des analyses moléculaires ultérieures (Dumas *et al.*, 2015). Cette approche est d'autant plus pertinente que l'accès aux infrastructures de biologie moléculaire reste limité dans de nombreux contextes d'études sur les pathogènes aviaires, notamment au Togo ou en Afrique de l'Ouest.

La présente étude vise ainsi à analyser comment les pratiques avicoles et l'environnement influencent les interactions hôte–pathogène–environnement, à partir d'une caractérisation exploratoire des agents pathogènes présents dans les élevages togolais. Plus spécifiquement, elle cherche à (i) inventorier les maladies et les morphotypes compatibles avec différents groupes d'agents infectieux, (ii) estimer leur prévalence apparente et leurs co-occurrences, et (iii) analyser leurs liens avec les caractéristiques contextuelles des élevages. Les résultats, discutés dans une perspective One Health, constituent une étape préliminaire et indispensable avant confirmation par PCR et séquençage, nécessaires pour affiner l'identification taxonomique et renforcer l'évaluation des risques sanitaires.

## **Matériel et méthodes**

### **Considérations éthiques**

L'étude a été conduite conformément aux standards éthiques nationaux et institutionnels, ainsi qu'aux directives du Ministère français de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (accord d'approbation APAFIS #34416-2021112911335464 v7). Le consentement éclairé des éleveurs a été obtenu préalablement à toute intervention sur les animaux.

### **Zone d'étude**

L'étude s'est déroulée dans quatre régions du Togo : Maritime, Centrale, Kara et Savanes (voir description détaillée au chapitre 5). Ces régions ont été sélectionnées en raison de la présence historique de foyers de la maladie de Newcastle (2005–2009), de la densité des élevages familiaux et semi-commerciaux, ainsi que de cas sporadiques de grippe aviaire (2007–2008) signalés dans les rapports de surveillance des maladies animales (OIE, 2019 ; FAO, 2020).

### **Échantillonnage des volailles, prélèvements et préparation des lames**

Deux campagnes d'échantillonnage ont été réalisées : de septembre à novembre 2023, puis d'août à octobre 2024. Au total, quarante-deux élevages ont été visités (Savanes : n=12 ; Kara : n=10 ; Centrale : n=8 ; Maritime : n=12), soit un total de 127 poulets locaux échantillonnés.

Une approche stratifiée a été utilisée, chaque strate correspondant à un poulailler (familial ou semi-commercial). La sélection des sites s'est faite en collaboration avec des auxiliaires de

santé communautaire (ASC) et des auxiliaires vétérinaires d'élevage (AVE), selon la taille du cheptel et la présence de poulets élevés en divagation ou semi-divagation.

Les villages retenus étaient espacés d'au moins 2 km afin de refléter l'hétérogénéité spatiale des élevages.

Les visites ont eu lieu tôt le matin (6 h), avant la sortie des volailles. Les éleveurs ont été informés des objectifs de l'étude et leur consentement recueilli à la veille. Un questionnaire standardisé (voir annexe 5) a permis de collecter des informations sur les pratiques d'élevage et les conditions sanitaires locales.

Chaque volaille a été sexée, pesée ( $\pm 1$  g) et mesurée (longueur des tarsi, crête, barbillons, en cm) pour estimer l'âge. Un identifiant unique a été attribué à chaque individu (ex. ALM5G1). Les coordonnées GPS de chaque élevage ont été enregistrées à l'aide d'un GPS portable (Garmin ETREX 10).

La recherche d'agents pathogènes circulant chez les poulets locaux a été effectuée par analyse sanguine. Le sang aviaire peut contenir divers agents pathogènes, notamment des virus, bactéries, rickettsies, protozoaires, microfilaires et champignons (Van Wettere & Hauck, 2020). Pour chaque volaille, le sang a été prélevé par piqûre de la veine alaire à l'aide d'une seringue de 2 ml après désinfection. Le sang a été recueilli dans des tubes capillaires héparinés. Une goutte ( $\approx 50$   $\mu$ L) a été déposée sur une lame de microscope, étalée à l'aide d'une lamelle, puis séchée à l'ombre pendant environ deux minutes. Les lames ont ensuite été colorées avec le kit RAL 555 (variante rapide de May-Grünwald Giemsa) pendant deux minutes, séchées trois minutes, puis conservées dans des boîtes hermétiques en attendant la lecture. Deux lames ont été préparées par individu.

Les précautions suivantes ont été systématiquement appliquées : (i) utilisation d'une aiguille neuve pour chaque volaille ; (ii) désinfection du site de ponction ; (iii) application d'un coton sur la zone de ponction pour stopper l'écoulement sanguin avant de relâcher l'animal.

Enfin, un recensement des signes cliniques compatibles avec différentes affections a été effectué dans chaque poulailler.

### **Analyse microscopique**

Les frottis sanguins ont été examinés au microscope optique (OMAX, objectifs 4 $\times$  à 100 $\times$ , immersion), équipé d'une caméra numérique. L'identification des agents pathogènes s'est appuyée sur des clés taxonomiques spécialisées (Valkiūnas & Iezhova, 2018 ; Binkienė *et al.*, 2021 ; Svobodová *et al.*, 2023). Les observations ont permis de recenser les morphotypes compatibles avec différents groupes d'agents pathogènes (protozoaires, nématodes, bactéries, champignons).

Compte tenu des limites de la microscopie optique, ces identifications doivent être considérées comme exploratoires et nécessitent une confirmation moléculaire par PCR et séquençage.

### **Variables environnementales, climatiques et démographiques**

Les coordonnées géographiques (GPS) de chaque élevage ont été enregistrées et intégrées dans un Système d'Information Géographique (SIG) à l'aide du logiciel QGIS. Autour de chaque ferme, un rayon de 2 km comme zone de sécurité en cas d'épizootie a été défini. Les variables environnementales considérées incluaient :

- la présence de points d'eau,
- la densité de végétation (calculée à partir de l'indice de végétation NDVI), et
- l'occupation du sol (bâti, espaces verts, surfaces en eau).

La classification supervisée a été réalisée à partir d'images Landsat 8 OLI, traitées via le plugin SCP du logiciel QGIS (version 3.80). Les données climatiques (température et précipitations journalières) ont été obtenues auprès du service météorologique de Lomé pour la période janvier 2023 – octobre 2024. Les données démographiques et de densité humaine des préfectures échantillonnées ont été extraites des bases officielles d'open data (INSEED, 2023).

### **Analyse statistique**

Toutes les analyses ont été effectuées sous R 4.5.1 (R Core Team, 2025) et RStudio (2025). Des analyses descriptives, des indices de diversité, des comparaisons de groupes (emmeans test suivi de Tukey HSD), ainsi que des analyses multivariées (PERMANOVA, MCA, CCA, SIMPER) ont été utilisées pour explorer la distribution et les co-occurrences des pathogènes. Les détails ont été présentés dans le chapitre 5.

## **Résultats**

### **Inventaire des maladies et des morphotypes pathogènes**

Le recensement des maladies a révélé la présence de 14 signes cliniques compatibles avec différentes affections chez 95 poulets des quatre régions. Les symptômes les plus fréquents étaient les maladies respiratoires, digestives et cutanées. Le coryza aviaire (*Avibacterium paragallinarum*) a été le plus fréquemment détecté (21,1 % ; n = 20), tandis que la maladie de Marek et les pseudomonoses étaient les moins représentées (2,1 % ; n = 2 chacun) (Tableau 22). Le test Chi2 a révélé une différence significative dans la distribution des prévalences des maladies entre sites ( $\chi^2 = 78,09$  ; ddl = 39 ; p = 0,0002), suggérant une répartition hétérogène des affections cliniques dans la population étudiée entre sites.

Tableau 21: Maladies recensées dans les élevages avicoles familiaux et semi-commerciaux (Togo)

Maladies	Prév.site1S	Prév.site2K	Prév.site3C	Prév.site4M	étiologie	Zoonose
Colibacilloses	2 (16,67%)	0 (0%)	1 (12,5%)	4 (33,33%)	E. coli	oui
Coryza infectieuse	4 (33,33%)	9 (90%)	2 (25%)	5 (41,67%)	Avibacterium spp	non
Salmonellose aviaire	2 (16,67%)	3 (30%)	1 (12,5%)	1 (8,33%)	Salmonella spp	oui
mycoplasmoses	3 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	Mycoplasma spp	oui
Variole aviaire	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (41,67%)	Avipoxvirus	non
Gale	3 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (8,33%)	Knemidoscoptes spp	acarien
Maladie de Newcastle	1 (8,33%)	3 (30%)	3 (37,5%)	0 (0%)	NCD	oui
Pseudomonose aviaire	1 (8,33%)	1 (10%)	0 (0%)	0 (0%)	Pseudomonas spp	oui
Pasteurellose	3 (25%)	2 (20%)	1 (12,5%)	5 (41,67%)	Pasteurella spp	oui
Laryngotracheite infectieuse	1 (8,33%)	2 (20%)	0 (0%)	5 (41,67%)	GaHV-1	non
Clostridiose aviaire	0 (0%)	3 (30%)	0 (0%)	0 (0%)	Clostridium spp	oui
Staphylococcie aviaire	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	9 (75%)	Staphylococcus spp	oui
Marek	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (16,67%)	GaHV-2	non
Pododermatites	0 (0%)	2 (20%)	0 (0%)	5 (41,67%)	multifactorielle	non

Nombre d'élevage visité (Site1S : 12 ; Site2K : 10 ; Site3C : 8 ; Site4M : 12) ; NB : Confère détaille dans l'annexe 4

Parmi les 127 poulets prélevés, l'analyse microscopique des gouttes épaisses provenant de 67 individus a révélé la présence de 35 morphotypes compatibles avec différents groupes pathogènes : nématodes sanguins (14 morphotypes, ex. *Mansonella* spp., *Onchocerca* spp.) ; protozoaires (12 morphotypes, ex. *Plasmodium* spp., *Leucocytozoon* spp., *Haemoproteus* spp., *Trypanosoma* spp.) ; bactéries (5 morphotypes, ex. *Campylobacter* spp., bacilles compatibles avec *Mycobacterium* spp.) ; champignons (4 morphotypes, ex. *Histoplasma* spp.) (Tableau 23, Photo 17). Le test de Chi2 a révélé une différence significative dans la distribution des prévalences des morphotypes d'agents pathogènes entre sites ( $\chi^2 = 161,86$  ; ddl = 102 ; p = 0,00031), suggérant une distribution hétérogène des morphotypes dans la population étudiée entre sites.

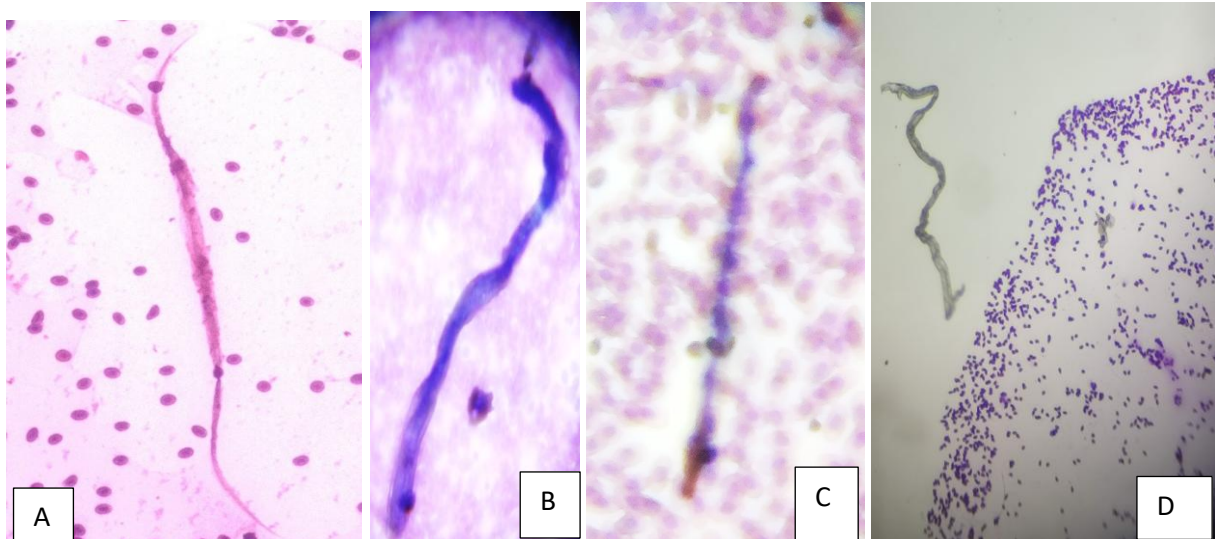
Tableau 22: Morphotypes d'agents pathogènes détectés chez les poulets locaux d'élevage (Togo)

Morphotypes	Site1S	Site2K	Site3C	Site4M	Zoonose
Brugia spp	5 (33,33%)	6 (30%)	11 (57,89%)	3 (23,07%)	non
Onchocerca spp	4 (26,67%)	7 (35%)	7 (36,84%)	0 (0%)	oui
Mansonella spp	7 (46,67%)	8 (40%)	14 (73,78%)	6 (46,15%)	non
Wuchereria spp	4 (26,67%)	4 (20%)	7 (36,84%)	1 (7,69%)	non
Loa spp	2 (13,33%)	1 (5%)	0 (0%)	0 (0%)	non
Dirofilaria spp	3 (20%)	0 (0%)	2 (10,52%)	0 (0%)	oui
Trypanosoma spp	6 (40%)	1 (5%)	1 (5,26%)	0 (0%)	oui
Plasmodium spp	7 (46,67%)	8 (40%)	13 (68,42%)	6 (46,15%)	oui
Anaplasma spp	5 (33,3%)	1 (5%)	2 (10,52%)	0 (0%)	oui
Babesia spp	7 (46,67%)	3 (15%)	3 (15,78%)	1 (7,69%)	oui
Leishmania spp	8 (53,33%)	4 (20%)	2 (10,52%)	2 (15,38%)	oui
Schistosoma spp	6 (40%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	oui

Toxoplasma spp	7 (46,67%)	7 (35%)	3 (15,78%)	1 (7,69%)	oui
Histoplasma spp	4 (26,67%)	5 (25%)	7 (36,84%)	0 (0%)	oui
Mycobacterie	3 (20%)	3 (15%)	4 (21,05%)	1 (7,69%)	oui
Campylobacter spp	0 (0%)	2 (10%)	2 (10,52%)	0 (0%)	oui
Microsporidie	0 (0%)	4 (20%)	3 (15,78%)	0 (0%)	oui
Yersinia spp	3 (20%)	2 (10%)	0 (0%)	0 (0%)	oui
Paracoccidioides spp	1 (6,67%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	non
Coccidioides spp	3 (20%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	non
Arthroconidies	1 (6,67%)	3 (15%)	0 (0%)	0 (0%)	non
Spirochète_Borrelia spp	2 (13,33%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	oui
Helicobacter	2 (13,33%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	oui
Aegyptianella	0 (0%)	1 (5%)	0 (0%)	0 (0%)	non
Leucocytuzoon spp	5 (33,3%)	9 (45%)	14 (73,78%)	5 (38,46%)	non
Haemoproteus spp	3 (20%)	7 (35%)	12 (63,15%)	4 (30,76%)	non
Hepatozoon spp	2 (13,33%)	4 (20%)	7 (36,84%)	0 (0%)	non
Theileria spp	1 (6,67%)	1 (5%)	2 (10,52%)	0 (0%)	non
Dipetalonema spp	0 (0%)	2 (10%)	6 (31,57%)	3 (23,07%)	non
Cardiofilaria spp	0 (0%)	0 (0%)	9 (47,36%)	2 (15,38%)	non
Eulimdana spp	0 (0%)	1 (5%)	1 (5,26%)	0 (0%)	non
Chandlerella spp	0 (0%)	1 (5%)	1 (5,26%)	0 (0%)	non
Spirura spp	0 (0%)	0 (0%)	2 (10,52%)	0 (0%)	oui
Splendidofilaria spp	2 (13,33%)	5 (25%)	13 (68,42%)	4 (30,76%)	non
Eufilaria spp	0 (0%)	7 (35%)	11 (57,89%)	2 (15,38%)	non

Site1S : 15 ; Site2K : 20 ; Site3C : 19 ; Site4M : 13

Ces observations suggèrent que les poulets locaux hébergent une large diversité de pathogènes moduler par l'habitat, confirmant leur rôle de réservoir, mais les identifications restent exploratoires et nécessitent confirmation moléculaire.



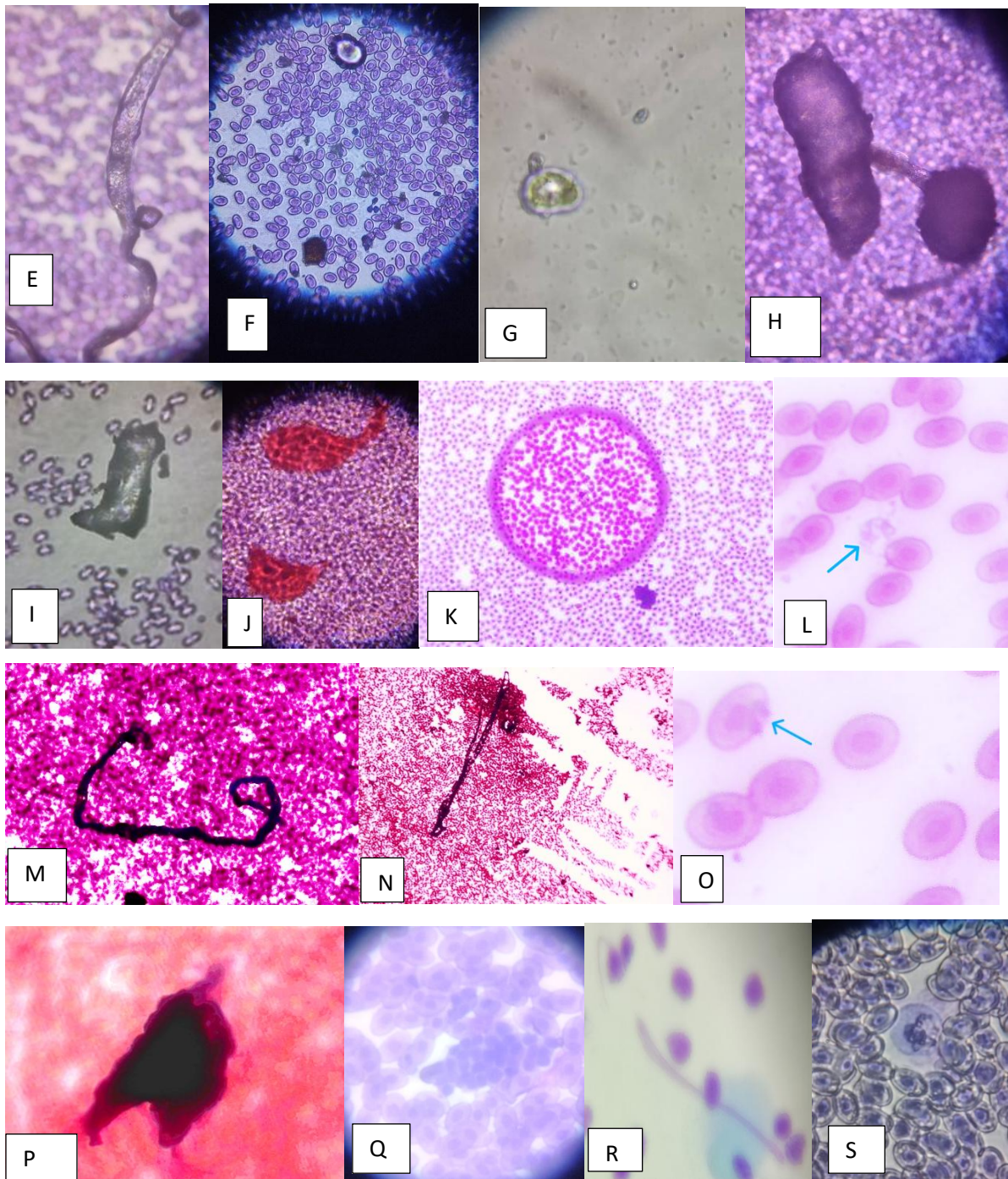


Photo 17: Vue d'ensemble des morphotypes de pathogènes détectés chez les volailles

*Onchocerca* spp (A), *Trypanosoma* spp (B), *Schistosoma* spp (C), *Wuchereria* spp (D), *Mansonella* spp (E), *Histoplasma* spp (F&G), *Yersinia* spp (H), *Mycobacterium* spp (I), Tachyzoite et Bradyzoite de *Toxoplasma* spp (J), *Leucocytozoon* spp (K), *Plasmodium* spp (L), *Wuchereria* spp (M), *Brugia* spp (N), *Babesia* spp (O), *Leishmania* spp (P, Q & R), *Helicobacter* (S) (photos personnelles au 4x" et 10x").

Autres (confère annexe 5)

## Structure spatiale et co-infections des pathogènes zoonotiques

### a-Structure spatiale

Parmi les agents détectés compatible aux différentes affections cliniques et morphotypes mise en évidence, 25 taxons zoonotiques (parasites, bactéries, virus, protozoaires et champignons) ont été recensés. Parmi eux, les morphotypes *Plasmodium* spp. : 40–70 % ; *Staphylococcus* spp. et *Pasteurella* spp. : jusqu'à 40 % localement ; Virus de la maladie de Newcastle (NDV) : ≈20 % et *Histoplasma* spp. : jusqu'à 40 %. présentaient les occurrences les plus notables (Figure 46). Certains élevages présentaient une accumulation de morphotypes d'agents diversifiés, tandis que d'autres étaient dominés par quelques taxons spécifiques. La PERMANOVA a confirmé cette hétérogénéité spatiale entre sites (Pseudo-F = 2,98 ; df = 3 ; p = 0,001).

Les analyses multivariées ont mis en évidence une structuration nette des communautés pathogènes selon les sites. La MCA a révélé des profils infectieux différenciés (Figure 47), confirmant l'hétérogénéité de la dynamique des pathogènes zoonotiques chez les volailles entre sites (Figure 47A). L'analyse SIMPER a révélé que cette différenciation est principalement due à des pathogènes spécifiques tels : *Trypanosoma* spp., *Leishmania* spp., *Onchocerca* spp., *Histoplasma* spp. et des bacilles compatibles avec *Mycobacterium*, fortement corrélés à Dim 1 (Figure 47B), suggérant que certains pathogènes ne sont présents que sur certains sites.

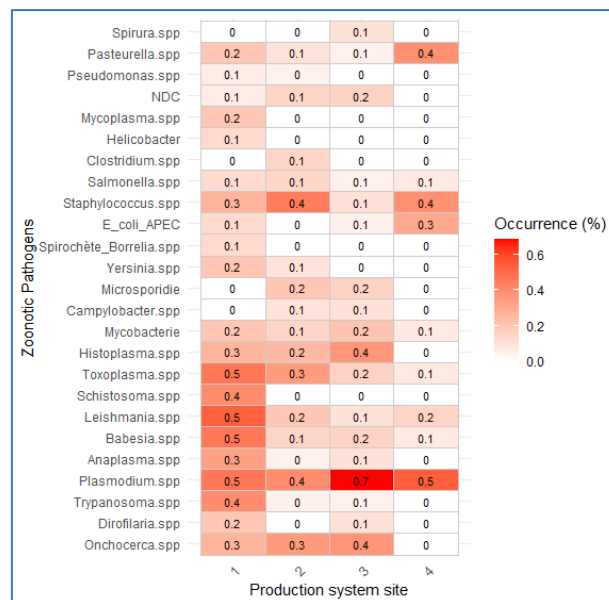


Figure 46: Occurrence moyenne des agents pathogènes zoonotiques détectés chez les volailles selon la région

L'axe des ordonnées montre les agents pathogènes zoonotiques détectés. L'axe des abscisses montre le code numérique des régions (1 : Région des Savanes, 2 : Région de la Kara, 3 : Région Centrale, 4 : Région Maritime) ; l'intensité de la coloration reflète la proportion d'individus infectés (occurrence relative), prévalence allant de 0 % (blanc) à 100 % (rouge foncé).

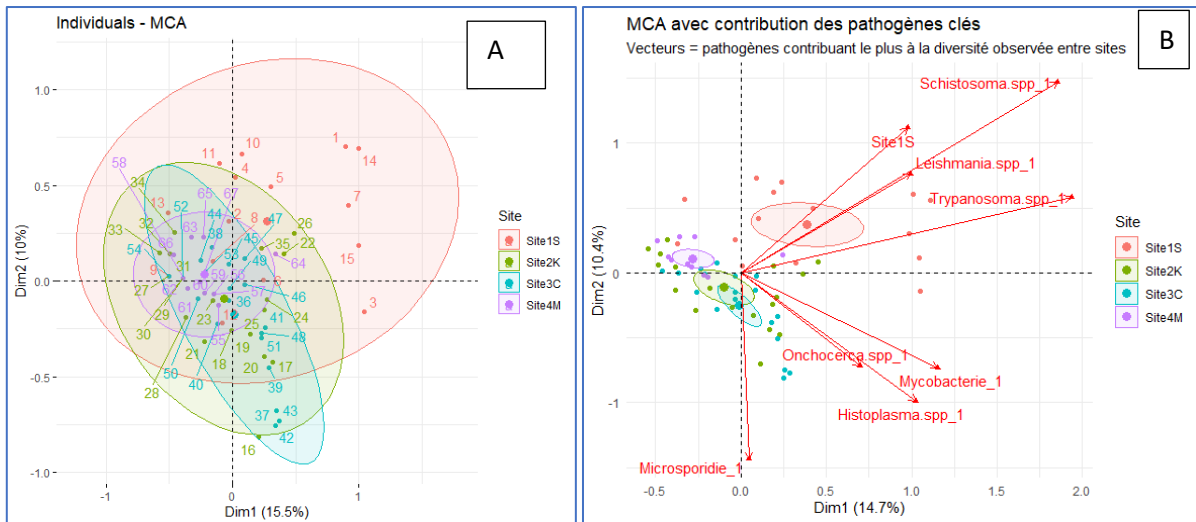


Figure 47: Profils infectieux des agents pathogènes zoonotiques chez les poulets locaux selon les sites d'élevage

A : chaque point représente un individu, coloré selon son site ; B : la longueur des flèches indique le poids de la contribution.

L'analyse Canonique de Correspondance (CCA) a révélé plusieurs associations environnementales : i) la pluviométrie moyenne corrélée à *E. coli* et Avipoxvirus ; ii) la température moyenne à *Babesia* spp., *Trypanosoma* spp., *Dirofilaria* spp., iii) l'indice de végétation (NDVI) à *Clostridium* spp., *Campylobacter* spp. et *Histoplasma* spp. (Figure 48). Les deux premiers axes expliquaient 49,9 % (CCA1) et 36,2 % (CCA2) de la variance. Cependant le test global a révélé une significativité marginale ( $F = 1,13$  ;  $p = 0,06$ ), suggérant un effet écologique partiel ou un échantillon insuffisant.

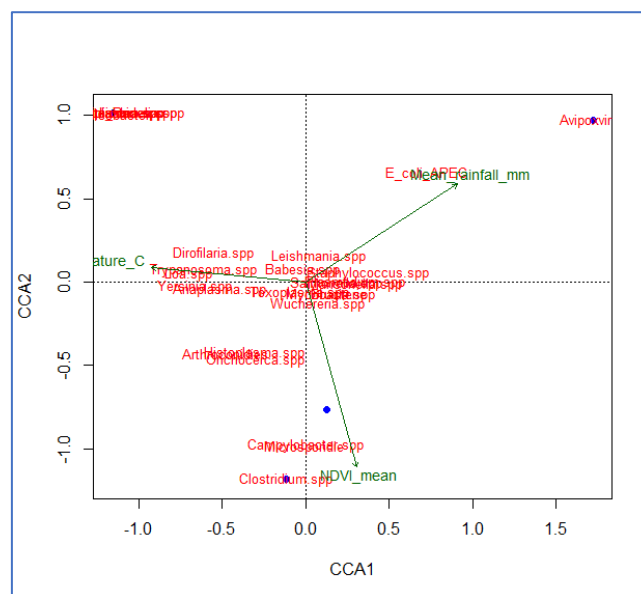


Figure 48: Influence des facteurs écologiques et climatiques sur la distribution des agents pathogènes chez les poulets

Ces observations suggèrent que la dynamique des agents zoonotiques chez les volailles dépend à la fois des pratiques d'élevage et des conditions environnementales locales.

### b-Co-infections

L'analyse par régression logistique pondérée du nombre d'individus infectés et de la diversité spécifique relative des pathogènes détectés par site d'élevages a révélé une fréquence de co-infection variant de 53,8% à 100% (Figure 49A). Les sites 1S et 3C, hébergeaient plusieurs pathogènes simultanément. La fréquence de co-infections est positivement et significativement corrélée la diversité spécifique des agents pathogènes (Cor = 0,94 ; t = 4,05, df = 2, p = 0,05 ; 95%IC = -0,18 à 0,99). La diversité spécifique des agents pathogènes variait significativement entre sites Kruskal-Wallis chi-squared = 16.64, df = 3, p-value = 0.0008) (Figure 49B).

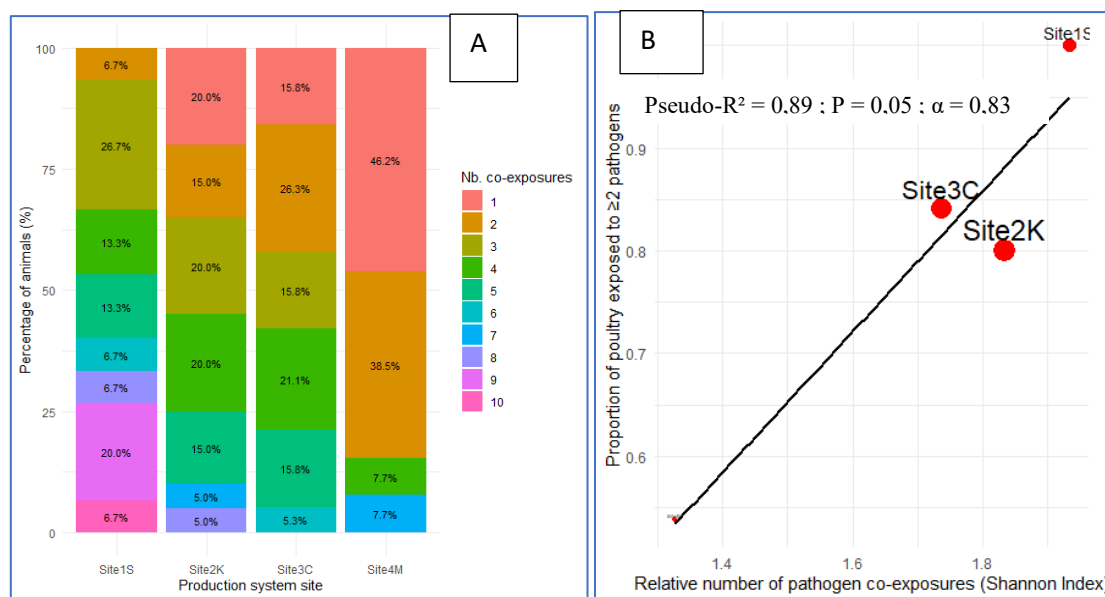


Figure 49: Co-infections des agents pathogènes zoonotiques chez les poulets d'élevage

A : Chaque couleur indique le nombre de pathogène détecté simultanément chez un nombre d'animale exprimé en pourcentage par site. B : la droite de régression exprime la relation entre le nombre de pathogène présent et leur variabilité entre site (Site1S, Site2K, Site3C, Site4M).

Ces observations suggèrent que les volailles sont exposées à des infections multiples, renforçant le risque de synergie pathogène et la complexité du contrôle sanitaire.

### Facteurs contextuels et environnementaux associés

L'analyse des facteurs individuels et contextuels a montré que la diversité pathogène variait significativement selon : i) la région d'élevage (site) ; ii) la saison d'échantillonnage ; iii) le système d'élevage, plus élevée en élevages familiaux extensifs qu'en semi-commerciaux (Tukey HSD, p < 0,05). En revanche, l'âge et le sexe des volailles n'étaient pas associés à des

différences significatives (Tukey HSD,  $p > 0,05$ ) (Figure 50), suggérant que la dynamique des agents zoonotiques chez les volailles dépend à la fois des pratiques, du site et de la saison.

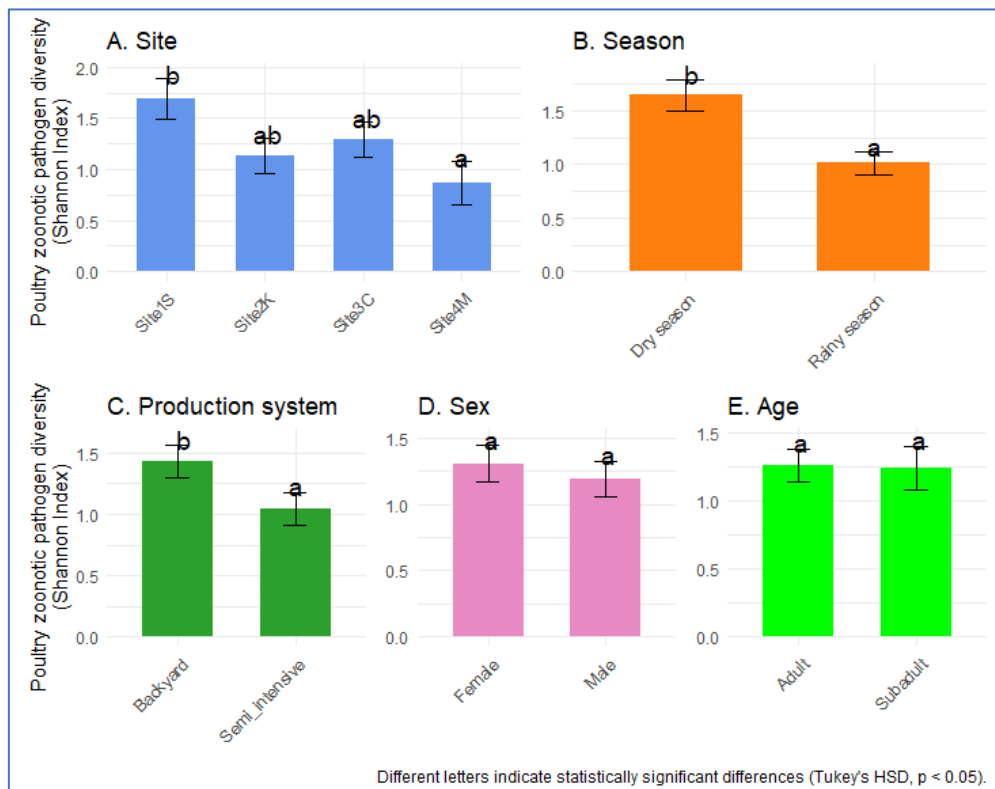


Figure 50: Influence des facteurs extrinsèques sur la diversité des agents pathogènes zoonotiques chez les poulets locaux (*Gallus gallus domesticus*)

Les barres représentent les moyennes de l'indice de diversité de Shannon  $\pm$  erreur standard. Des lettres différentes indiquent des différences statistiquement significatives entre groupes (emmeans suivie du test HSD de Tukey,  $p < 0,05$ ).

## Discussion

Cette étude visait à comprendre comment les pratiques avicoles et l'environnement façonnent les interactions hôte–pathogène–environnement chez les volailles, à travers une caractérisation exploratoire des maladies et des morphotypes pathogènes présents chez les poulets d'élevages au Togo. L'étude a permis de mettre en évidence une diversité importante de maladies et de morphotypes pathogènes circulant chez les poulets locaux au Togo. Les observations microscopiques ont révélé la présence de nématodes, protozoaires, bactéries et champignons dans le sang. Plusieurs d'entre eux (25) présentent un intérêt zoonotique. Ces résultats confirment que les poulets issus d'élevages familiaux et semi-commerciaux constituent des réservoirs potentiels pour de multiples agents infectieux, comme déjà rapporté dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest (Nyaga, 2007 ; Rault *et al.*, 2020). Toutefois, il est important de

souligner que les identifications basées uniquement sur la morphologie microscopique demeurent exploratoires et peuvent conduire à des confusions taxonomiques. Certaines structures observées pourraient correspondre à des artefacts ou à des organismes proches morphologiquement. Ainsi, la confirmation par des approches moléculaires (PCR, séquençage) reste indispensable pour valider l'identité des agents détectés. En somme, cette première caractérisation fournit un aperçu de la diversité pathogène circulante, mais elle doit être considérée comme une étape préliminaire ouvrant la voie à des investigations moléculaires plus précises.

Les fréquences d'occurrence observées indiquent que certains agents pathogènes, notamment *Plasmodium* spp. et microfilaires *Mansonella* spp., circulent de façon soutenue dans les élevages, avec des prévalences locales dépassant 70 %. Ces résultats corroborent les travaux antérieurs rapportant une forte exposition des volailles villageoises aux hémoparasites en Afrique de l'Ouest (Bagnol *et al.*, 2013 ; Valkiūnas & Iezhova, 2018).

La mise en évidence de co-infections fréquentes est particulièrement notable. La majorité des poulets examinés hébergeaient plusieurs pathogènes simultanément, ce qui reflète des conditions d'exposition intenses et une absence de mesures de biosécurité efficaces dans les élevages familiaux. Les co-infections peuvent aggraver la sévérité clinique des maladies, moduler la réponse immunitaire et favoriser la circulation persistante de certains agents, augmentant ainsi la complexité de la gestion sanitaire.

Du point de vue de la santé publique, l'identification d'agents zoonotiques tels que *Histoplasma* spp., *Campylobacter* spp. ou encore le virus de la maladie de Newcastle souligne le risque potentiel de transmission à l'humain, en particulier dans des contextes où le contact homme-animal est étroit et où les mesures d'hygiène sont limitées. Ces résultats mettent en évidence non seulement une forte charge pathogène chez les poulets locaux, mais aussi une vulnérabilité accrue liée aux co-infections, avec des implications pour la santé animale et humaine.

L'analyse statistique a montré que la diversité pathogène variait selon la région, la saison et le système d'élevage, mais pas en fonction de l'âge ou du sexe des volailles. Ces résultats confirment l'importance du contexte d'élevage et des pratiques locales comme déterminants de la circulation infectieuse. La plus forte diversité observée dans les élevages familiaux extensifs reflète probablement des conditions d'hygiène plus faibles, un contact plus étroit avec la faune sauvage et une exposition accrue aux vecteurs.

Les analyses multivariées (MCA, CCA) ont également mis en évidence des associations avec des variables environnementales, notamment la pluviométrie et la végétation, qui influencent la dynamique des agents vectoriels et des pathogènes associés. Bien que les résultats globaux

soient marginalement significatifs, ils confirment la nécessité d'intégrer les paramètres écologiques dans l'étude des maladies aviaires en contexte tropical. Ces observations soulignent que la dynamique des pathogènes chez les volailles locales ne peut être comprise sans prendre en compte les interactions complexes entre pratiques d'élevage, facteurs climatiques et environnementaux – une perspective pleinement en accord avec l'approche One Health.

En somme, cette étude exploratoire apporte une première vision intégrée des agents pathogènes circulant chez les poulets locaux au Togo. Les résultats montrent (i) une diversité notable de maladies et de morphotypes pathogènes, (ii) des prévalences élevées et des co-infections fréquentes, et (iii) des variations liées aux pratiques d'élevage et aux conditions environnementales. Bien que limitée par l'absence de confirmation moléculaire, cette approche fournit des bases solides pour de futures investigations combinant microscopie, PCR et séquençage. Ces données constituent une étape clé pour évaluer les risques sanitaires dans une perspective One Health et orienter la mise en place de stratégies de biosécurité adaptées aux réalités locales.

### **Conclusion, limites et perspectives**

Cette étude a exploré la diversité des agents pathogènes circulant chez les poulets locaux d'élevages familiaux et semi-commerciaux au Togo, dans une perspective One Health. L'approche adoptée, basée sur l'examen microscopique du sang et l'analyse des contextes d'élevage, visait à combler un manque de connaissances sur la circulation des pathogènes aviaires au Togo. Les résultats obtenus révèlent une diversité pathogène remarquable, comprenant des morphotypes compatibles avec des nématodes, protozoaires, bactéries et champignons, dont plusieurs agents zoonotiques. Les fréquences observées, parfois élevées, confirment que les poulets locaux constituent des réservoirs d'importance épidémiologique. La forte proportion de co-infections met en évidence la vulnérabilité de ces volailles et la complexité des dynamiques infectieuses en contexte villageois.

L'analyse des facteurs contextuels et environnementaux a montré que la circulation des pathogènes n'est pas homogène, mais varie selon la région, la saison et le système d'élevage. Ces variations traduisent des interactions étroites entre hôtes, agents pathogènes et environnement, renforçant la nécessité d'une approche intégrée pour comprendre et gérer les risques. En dépit de ses limites — notamment l'absence de confirmation moléculaire des morphotypes identifiés — cette étude constitue une première étape essentielle vers une caractérisation plus fine des agents pathogènes aviaires au Togo. Elle ouvre la voie à des investigations futures combinant microscopie, PCR et séquençage, afin de préciser l'identité

taxonomique des pathogènes et d'évaluer plus rigoureusement leurs implications pour la santé animale et humaine. En somme, ce travail souligne le rôle central des poulets locaux comme sentinelles de la circulation pathogène et appelle à renforcer la surveillance épidémiologique et les mesures de biosécurité dans une perspective durable de santé publique et de santé animale.

**Références : voir la bibliographie de la thèse**

## Chapitre 10: Diversité des systèmes et pratiques avicoles au Togo

### 10.1 Introduction

À l'échelle mondiale, trois espèces (poulet, porc, bœuf) représentent près de 90 % de la production de viande (FAO, 2023). L'aviculture y occupe une place prépondérante : le poulet constitue la viande la plus produite et la plus consommée, contribuant de manière significative aux apports protéiques autant en milieu rural qu'urbain (MAEP, 2021). Entre 1961 et 2019, la population mondiale de poulets a crû de 4 à 26 milliards de têtes, tandis que la consommation moyenne de viande par habitant passait de 23 à 44 kg/an (FAO, 2020 ; United Nations, 2021). Cette dynamique se retrouve en Afrique de l'Ouest et au Togo : le cheptel national de volailles a progressé de 8 à plus de 26 millions de têtes entre 2010 et 2019 (soit une hausse de plus de 200 % ; Togo First, 2019). L'aviculture y constitue un levier pour la sécurité alimentaire, la réduction de la pauvreté et la diminution de la pression sur la faune sauvage (ICAT, 2010). Toutefois, plus de 80 % de la production avicole togolaise repose encore sur des systèmes familiaux ou traditionnels, caractérisés par des ressources limitées, une structuration faible, une cohabitation interspécifique fréquente et des pratiques sanitaires souvent insuffisantes (USDA, 2013), ce qui accroît la vulnérabilité aux maladies infectieuses et zoonotiques.

Dans ce contexte, il est crucial d'étudier la diversité des systèmes, des pratiques et des interactions interspécifiques dans le système avicole togolais, afin et d'évaluer les implications en matière de biosécurité et de durabilité. Le présent chapitre vise à étudier la diversité des systèmes, des pratiques et des interactions interspécifiques dans le système avicole du Togo, afin de proposer des orientations opérationnelles pour renforcer la durabilité sanitaire et socio-économique des systèmes avicoles togolais.

Les travaux réalisés dans ce contexte ont fait objet d'un article (article 6) en cours de soumission au journal *World's Poultry Science Journal* dont le texte intégral est présenté ci-dessous

## 10.2 Article 6

### **Titre : Diversité des systèmes, des pratiques et des interactions interspécifiques dans les élevages avicoles familiaux et semi-commerciaux au Togo**

To be submit to *World's Poultry Science Journal*

#### **Résumé (Abstract)**

**Contexte :** Les systèmes avicoles familiaux et semi-commerciaux jouent un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance ruraux en Afrique de l'Ouest, mais restent encore mal caractérisés quant à leur structure, leurs pratiques et leurs interactions interspécifiques. Au Togo, ces systèmes dominent la filière avicole nationale, tout en demeurant confrontés à d'importantes contraintes sanitaires et productives. Cette étude visait à décrire la diversité des systèmes de production, des pratiques de gestion et des interactions interspécifiques dans l'aviculture togolaise, ainsi qu'à identifier les principaux facteurs influençant la diversité des pratiques.

**Méthodes :** Quarante-deux élevages de volailles ont été enquêtés entre 2023 et 2024 dans quatre régions du Togo, à l'aide d'un questionnaire structuré et d'observations de terrain. Des analyses multivariées — analyse en composantes principales (ACP), analyse des correspondances multiples (ACM), classification hiérarchique (méthode de Ward), PERMANOVA et SIMPER — ont permis d'identifier les typologies d'élevages et les déterminants de la diversité des pratiques. L'indice de Shannon a été appliqué pour mesurer l'hétérogénéité des pratiques.

**Résultats :** Cinq profils d'élevages distincts ont été mis en évidence, allant des petites basses-cours domestiques à des systèmes semi-commerciaux diversifiés. Les objectifs de production et les structures varient fortement selon les régions. La diversité des pratiques est significativement influencée par la région, le genre et la formation des éleveurs (Tukey HSD,  $p < 0,05$ ), tandis que le statut socio-professionnel n'a pas d'effet notable. Des interactions interspécifiques fréquentes entre volailles, autres animaux domestiques et faune sauvage ont été observées (>95 % des élevages), témoignant d'une forte perméabilité écologique et de risques zoonotiques potentiels.

**Conclusions :** Les systèmes avicoles togolais présentent une forte hétérogénéité structurelle et fonctionnelle, façonnée par la disponibilité locale des ressources, le genre et la formation. La coexistence de systèmes diversifiés mais fragiles souligne la nécessité d’approches de biosécurité adaptées et intégrées selon le concept “Une seule santé”. Le renforcement des capacités techniques, de l’appui vétérinaire et de l’organisation des filières constitue une priorité pour améliorer la durabilité et la résilience des élevages avicoles familiaux au Togo et en Afrique de l’Ouest.

**Mots-clés :** Aviculture familiale, biosécurité, interactions interspécifiques, typologie des élevages, Afrique de l’Ouest, Togo, Une seule santé

## **Introduction**

Au cours de ces dernières décennies, la production animale mondiale a connu une croissance sans précédent, soutenue par l’urbanisation, la transition alimentaire et la demande accrue en protéines d’origine animale. Bien que plusieurs espèces soient élevées pour leur viande, trois d’entre elles (le poulet, le porc et le bœuf) représentent près de 90 % de la production totale (FAO, 2023). Parmi elles, l’aviculture occupe une place centrale : le poulet est aujourd’hui la viande la plus produite et la plus consommée au monde, contribuant de manière essentielle à la sécurité alimentaire, à l’économie des pays (MAEP, 2021). Entre 1961 et 2019, la population mondiale de poulets est passée de 4 à 26 milliards de têtes, tandis que la consommation annuelle moyenne de viande par habitant a presque doublé, de 23 à 44 kg, malgré de fortes disparités géographiques (FAO, 2020 ; United Nations, 2021).

Cette dynamique se retrouve également en Afrique de l’Ouest et au Togo en particulier. Entre 2010 et 2019, l’effectif national de volailles est passé de 8 à plus de 26 millions de têtes, soit une augmentation de plus de 200 % (Togo First, 2019). L’aviculture y constitue aujourd’hui un levier stratégique pour la sécurité alimentaire, la réduction de la pauvreté et la limitation de la pression humaine sur la faune sauvage (ICAT, 2010). Toutefois, plus de 80 % de la production repose encore sur des systèmes familiaux ou traditionnels, caractérisés par des ressources limitées, une structuration faible, une cohabitation interspécifique fréquente et des pratiques sanitaires souvent insuffisantes (USDA, 2013). Cette lacune systémique accroît la vulnérabilité aux maladies infectieuses et zoonotiques, comme l’ont illustré les flambées de grippe aviaire hautement pathogène (IAHP) recensées en 2007 et 2008 dans plusieurs localités (Sigbéhoué, Agbata, Agodéka, Tonoukouti, Agbata-Dagué).

Par ailleurs, le manque de formation des éleveurs en santé animale accroît les risques liés à d'autres agents pathogènes tels que *Salmonella* spp. ou *Campylobacter* spp. (Anderson *et al.*, 2016 ; Behravesht *et al.*, 2014).

Dans ce contexte, il est crucial de connaître la diversité des systèmes, des pratiques et des interactions interspécifiques dans le système avicole togolais, afin et d'évaluer les implications en matière de biosécurité et de durabilité. Le présent chapitre vise à étudier la diversité des systèmes, des pratiques et des interactions interspécifiques dans le système avicole du Togo. Plus précisément, il s'agira : i) d'identifier les profils d'élevages ; ii) de déterminer les pratiques et leur structure ; iii) d'identifier les interactions interspécifiques dans les élevages ; et iv) d'analyser les facteurs influençant les pratiques avicoles togolais. Nous faisons l'hypothèse qu'il existe une diversité d'élevages et de pratiques dans les systèmes avicoles togolais ; et que les pratiques sont influencés par le profil de formation des éleveurs, l'objectif de la production et la région d'élevage ; et les volailles sont en interaction avec la faune domestique, sauvage et exposés aux vecteurs.

## **Matériel et Méthodes**

### **Zone d'étude et échantillonnage**

L'étude a été conduite entre septembre et novembre 2023 dans quatre régions du Togo, choisies pour refléter la diversité agroécologique, socio-économique et la densité d'élevage avicole. Les sites ont été sélectionnés par échantillonnage raisonné, incluant des zones rurales, périurbaines et urbaines, avec l'appui des auxiliaires de santé communale (ASC) et des auxiliaires vétérinaires d'élevage (AVE).

Au total, 42 élevages de volailles ont été enquêtés, comprenant des exploitations familiales de type basse-cour et quelques unités semi-commerciales (n = 6). Compte tenu de ce faible effectif pour les élevages semi-commerciaux, les comparaisons statistiques entre systèmes ont été interprétées avec prudence.

### **Élaboration du questionnaire**

Le questionnaire a été élaboré à partir de Souvestre (2022), puis adapté au contexte local. Il comprenait 36 questions réparties en huit sections : (i) consentement, (ii) caractéristiques sociodémographiques, (iii) historique de l'activité avicole, (iv) objectifs de production, (v) pratiques d'élevage, (vi) interactions interspécifiques observées, (vii) pertes enregistrées et (viii) relations avec les services vétérinaires et les réseaux agricoles. Un prétest auprès de six

propriétaires (Kara et Tchamba, non inclus dans l'analyse) a permis de calibrer le questionnaire. La durée moyenne de passation était de dix minutes.

### **Collecte des données**

Les critères d'inclusion étaient : avoir au moins 15 ans et posséder au moins un poulet (*Gallus gallus domesticus*) en élevage (basse-cour, champs ou ferme), indépendamment du sexe de l'éleveur. Après consentement, les informations ont été collectées sur les caractéristiques sociodémographiques, les objectifs de production, les pratiques d'élevage (mode, alimentation, reproduction, prophylaxie), les interactions interspécifiques et les relations avec les services vétérinaires. Des visites de poulaillers et des observations directes ont complété les données déclaratives.

### **Construction de la base de données**

Les variables recueillies ont été regroupées en trois dimensions : (i) profils des éleveurs (âge, formation, statut professionnel), (ii) pratiques d'élevage (type de production, prophylaxie, durée d'élevage), (iii) ressources et commercialisation (approvisionnement en poussins, circuits de vente, autonomie alimentaire). Les variables qualitatives ont été transformées en modalités binaires pour faciliter les analyses multivariées, tout en gardant en mémoire la perte potentielle de nuances.

### **Analyses statistiques**

Compte tenu de la taille modeste des échantillons, l'analyse exploratoire a suivi plusieurs étapes :

1. **ACP** (variables quantitatives) pour réduire la dimensionnalité et identifier les principaux axes de variation.
2. **CAH** (distance euclidienne, méthode de Ward) pour établir une typologie des élevages.
3. **ACM** pour intégrer les variables qualitatives (mener séparément de l'ACP).
4. **Tests complémentaires** :
  - **PERMANOVA** (non paramétrique, adaptée aux distributions non normales) pour tester les différences de composition.
  - **SIMPER** pour identifier les variables explicatives de la diversité.
  - **Indice de Shannon** appliqué aux pratiques, avec une régression linéaire multiple.
  - Comparaisons post-hoc : comparaison par pair, emmeans test suivi du test Tukey HSD via le package Multicompview.

Les analyses ont été réalisées sous R 4.5.1 et RStudio (R Core Team 2025 ; RStudio Team 2025), avec les packages *FactoMineR*, *factoextra*, *dplyr*, *cluster* et *ggplot2*. Le seuil de significativité retenu était de 5 %.

## Résultats

### Typologie des élevages avicoles

L'analyse en composantes principales (ACP) suivie d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) a permis de dégager cinq profils d'élevages avicoles présentant des structures et des logiques de fonctionnement distinctes (Figure 51). Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 40,4 % de la variance totale (Dim1 = 27,4 %, Dim2 = 13,0 %), traduisant une organisation interne relativement hétérogène (Figure 52). Les axes suivants, expliquant chacun moins de 10 % de la variance, n'ont pas été interprétés.

Les principales variables corrélées positivement à la première dimension (Dim1) sont liées à la diversité et à la taille du cheptel, notamment le nombre de poulets, pintades, moutons, canards et pigeons. Les effectifs de bœufs et d'ânes y contribuent également de manière significative, indiquant que cet axe exprime une gradation du niveau de diversification et de la taille des élevages. La seconde dimension (Dim2) est davantage associée à des variables socio-économiques, telles que la durée d'expérience en aviculture et la fréquence d'introduction de coqs reproducteurs, suggérant un gradient d'intensification des pratiques (Figure 53).

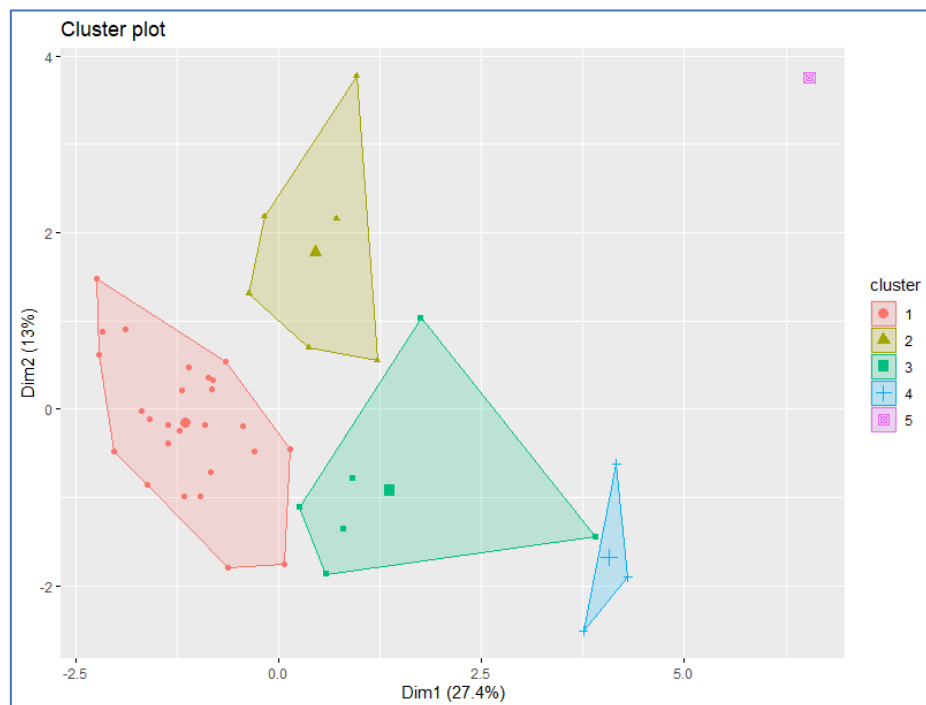


Figure 51: Profils typologiques des élevages avicoles au Togo

Représentation des typologies d'élevages d'après les données collectées au cours des enquêtes ; chaque polygone (cluster) représente un type d'élevage pratiqué par un groupe d'éleveur (points à l'intérieurs) issu des quatre régions enquêtées

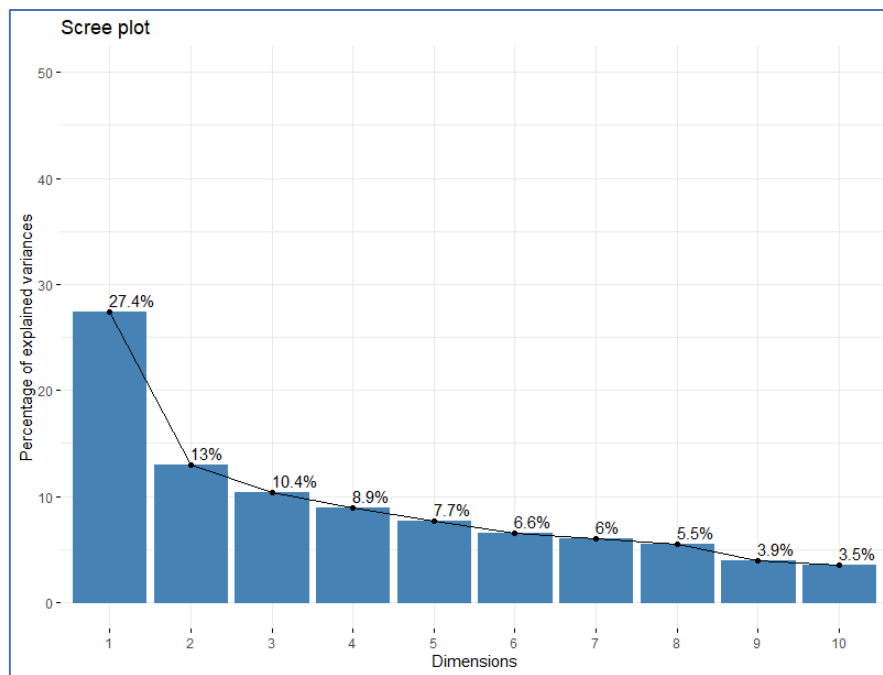


Figure 52: Variance expliquée par dimension de l'ACP

(graphique du pourcentage de la variance expliquée par chaque dimension de l'ACP)

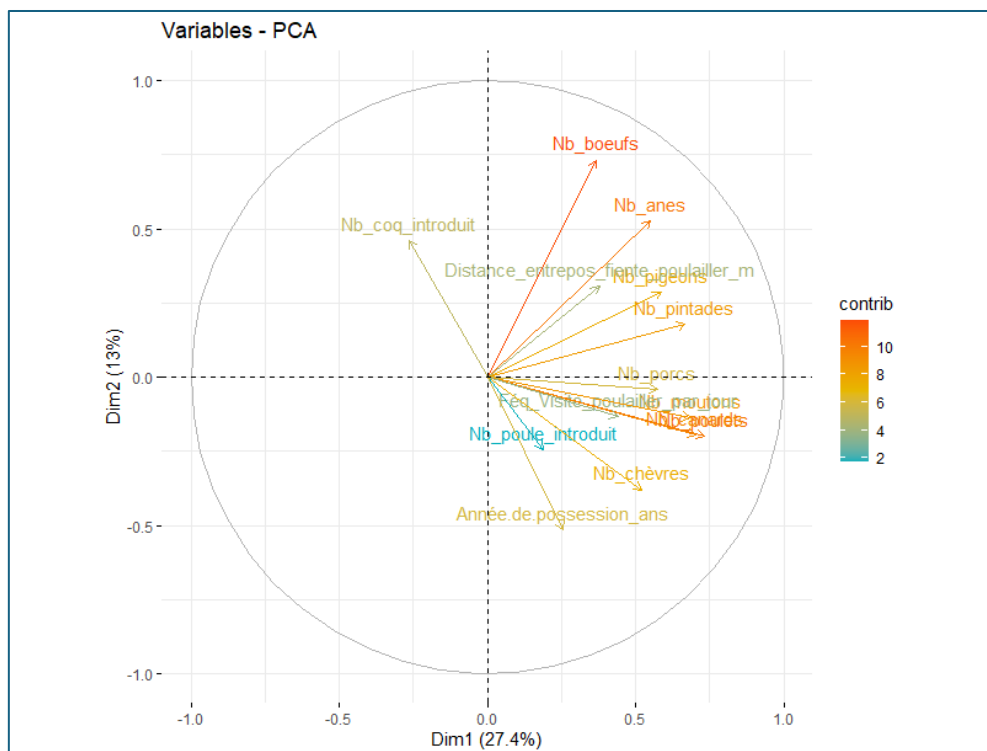


Figure 53: ACP des variables contributeurs de la diversité des profils typologiques

(graphique des variables quantitatives suivant les deux premières dimensions de l'ACP. Les variables de différentes couleurs font partie de différents groupes de variables, la longueur de la flèche reflète le poids de la corrélation)

La CAH a permis de distinguer cinq clusters représentatifs (Figure 54 ; Tableau 24) :

- **Cluster 1 – Élevages intermédiaires** : effectifs de 30 à 80 poulets, diversification modérée, souvent intégrés dans des systèmes mixtes.
- **Cluster 2 – Petits élevages familiaux récents** : moins de 30 volailles, expérience inférieure à cinq ans, parfois associés à des pintades.
- **Cluster 3 – Systèmes mixtes atypiques** : effectifs importants de petits ruminants ou de porcs, les volailles occupant une place secondaire.
- **Clusters 4 et 5 – Grands élevages diversifiés** : plus de 100 poulets, diversification marquée (incluant parfois des ânes), traduisant une orientation semi-commerciale.

Ces résultats confirment l'existence d'une forte hétérogénéité structurelle des systèmes avicoles togolais, allant de micro-exploitations domestiques à des unités plus capitalisées et polyvalentes.

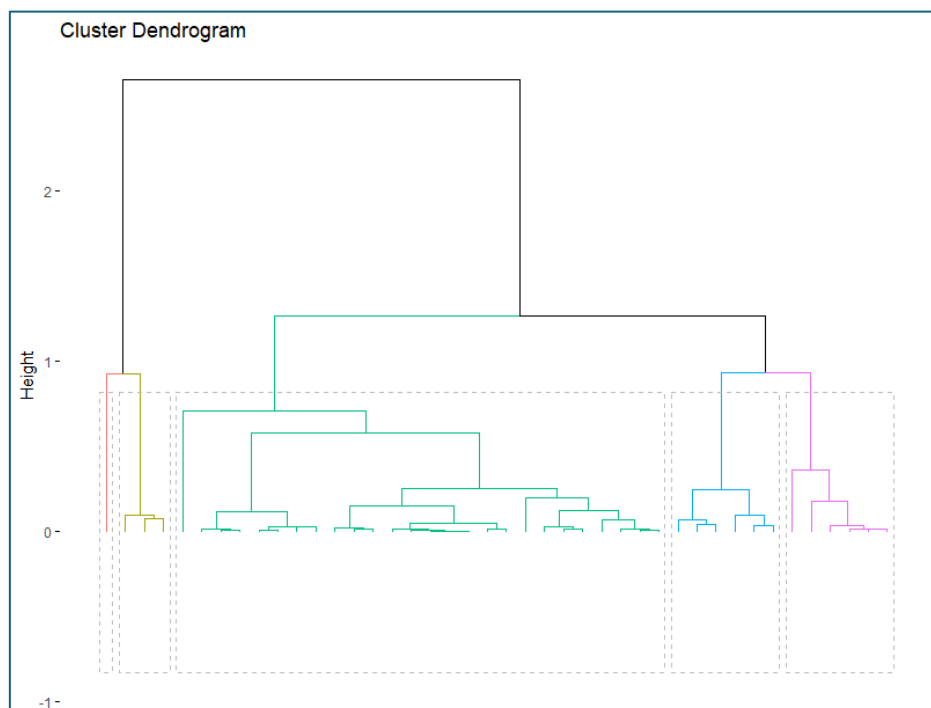


Figure 54: Dendrogramme de diversité des profils typologiques des élevages

Tableau 23: Caractéristiques des typologies d'élevages identifiées au Togo

Clusters	Analyse de cluster			Catégorie d'élevage	
	Variable	Moyenne catégorielle	Moyenne générale		P-value
Cluster 1	Fréquence de visite du poulailler /jour	2.34	2.55	2.44e-02	Elevage intermédiaire (Nb poulet (30 - 80))
	Distance lieu stockage de fientes (m)	3.81	4.24	1.74e-02	
	Nombre de canards	2.27	4.07	1.60e-02	
	Nombre de pigeons	0.62	3.93	9.49e-03	
	Nombre de poulets	33.73	71.05	8.82e-03	
	Nombre de bœufs	0.00	0.26	3.22e-03	
	Nombre de chèvres	4.077	5.95	3.14e-03	
	Nombre de porcs	0.42	3.12	1.15e-03	
	Nombre des pintades	6.65	11.81	6.55e-04	
Cluster 2	Nombre de poulets introduit	1.17	0.43	0.003	Petit élevage familiaux (année de possession < à 5 ans et Nb poulets inférieurs à 30)
	Année .de possession (ans)	1.83	2.79	0.008	
	Nombre de bœufs	1.33	0.26	0.0001	
	Nombre de pintades	24.00	11.81	0.009	
Cluster 3	Nombre de moutons	9.83	4.43	0.0004	Profil atypique
	Nombre de porcs	11.00	3.12	0.002	
	Année .de possession (ans)	3.67	2.78	0.014	
Cluster 4	Nombre de poulets	408.33	71.05	2.60e-07	Grands élevages diversifiés (Nb poulets>100)
	Nombre de canards	17.67	4.07	7.72e-05	
	Nombre de chèvres	16.67	5.95	2.41e-04	
	Nombre de pigeons	22.67	3.93	1.41e-03	
	Nombre de moutons	9.00	4.43	4.40e-02	
Cluster 5	Nombre d'ânes	5.00	0.19	5.19e-09	Grands élevages diversifiés
	Nombre de bœufs	3.00	0.26	1.61-04	
	Nombre de poulets	342.00	71.05	1.98e-02	
	Nombre de pintades	40.00	11.81	2.24e-02	
	Nombre de pigeons	26.00	3.93	3.42e-02	

### Structure sociodémographique, motivations et trajectoires

L'analyse des correspondances multiples (ACM) appliquée aux caractéristiques socio-économiques des éleveurs (âge, sexe, formation, profession, statut social) et à leurs motivations n'a pas révélé de différenciation marquée selon la formation initiale (Figure 55A-B). Les deux premiers axes expliquent respectivement 20,0 % et 16,3 % de la variance totale. La production avicole apparaît ainsi peu dépendante du profil académique ou professionnel initial.

Les pratiques dominantes, présentes dans plus de 70 % des cas, sont la vente de volailles, le don ou l'échange d'œufs, l'autoconsommation et la transmission intergénérationnelle de l'activité. En revanche, la représentation féminine et la participation des étudiants ou

commerçants demeurent limitées (< 30 %), traduisant une prédominance masculine dans la conduite des élevages familiaux.

Les résultats de la PERMANOVA confirment l'absence de différences significatives entre groupes de formation (pseudo-F = 1,07 ; pseudo-R<sup>2</sup> = 0,10 ; p = 0,40). L'analyse SIMPER indique que la variabilité observée entre éleveurs est principalement expliquée par l'âge, le statut social et certaines professions agricoles. Ces facteurs semblent influencer davantage sur l'investissement et la pérennité de l'activité que sur les pratiques techniques proprement dites.

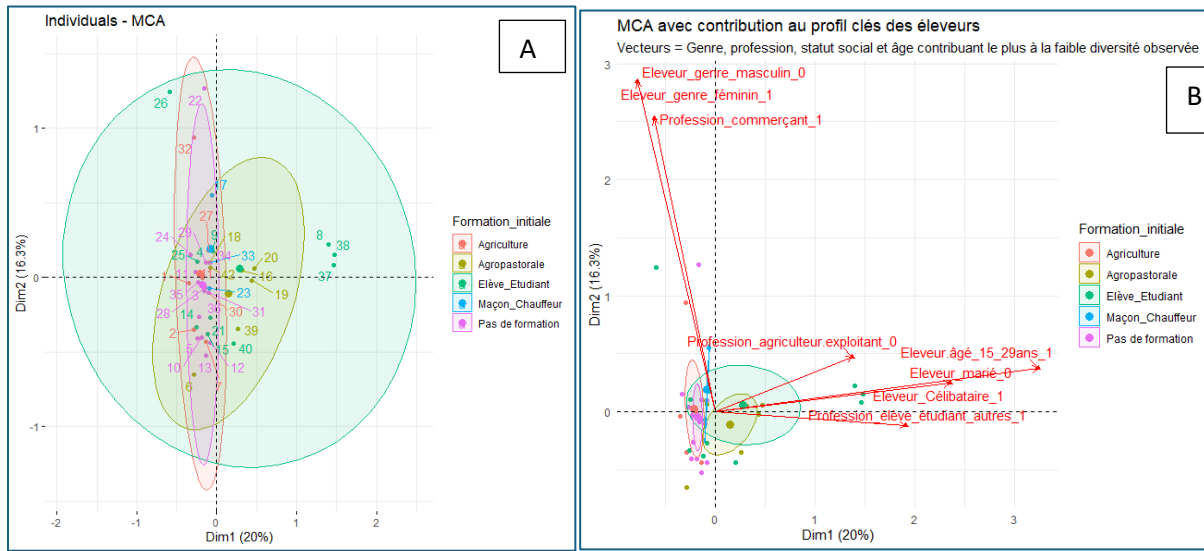


Figure 55: Pratiques avicoles selon la formation initiale de l'éleveur

### Structure spatiale des profils, objectifs et pratiques

L'analyse spatiale des pratiques et objectifs de production met en évidence des variations régionales significatives. Si la formation initiale n'a pas d'effet marqué (PERMANOVA : pseudo-F = 1,54 ; pseudo-R<sup>2</sup> = 0,108 ; p = 0,07), la région d'élevage influence nettement les profils identifiés (Figure 56A-B). L'ACM révèle une accumulation de pratiques diversifiées dans certaines zones (Centrale, Savanes), contrastant avec des pratiques plus ou moins homogènes dans les régions de Kara et Maritime (Dim1 = 19,0 % ; Dim2 = 9,6 %) (Figure 57A).

La PERMANOVA confirme une différenciation géographique significative (pseudo-F = 3,61 ; p < 0,001), tandis que le SIMPER identifie comme variables discriminantes : le recours à un vétérinaire, la vermifugation, la désinfection des œufs, l'élimination hygiénique des carcasses et l'éloignement des composts (> 5 m) (Figure 57B). Ces différences suggèrent une application hétérogène des mesures de biosécurité, souvent liée à la disponibilité des ressources et à l'accès aux services vétérinaires.

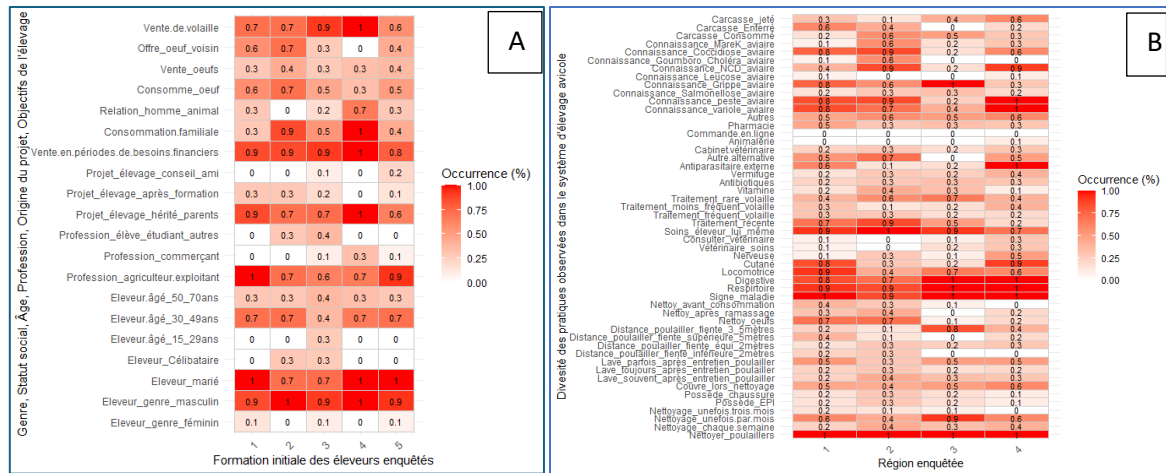


Figure 56: Pratiques avicoles selon la région d'enquête au Togo

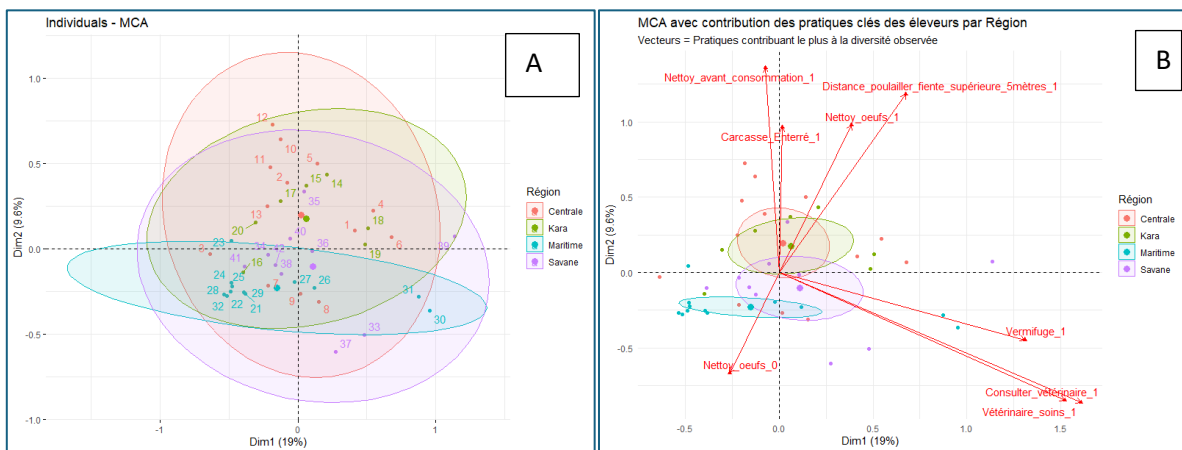


Figure 57: Profils des pratiques avicoles par région (chaque point représente un élevage)

## Interactions interspécifiques et systèmes de productions

Les interactions interspécifiques observées entre volailles, autres espèces domestiques et faune sauvage sont fréquentes dans l'ensemble des systèmes étudiés. Sur les 42 élevages visités, les taux de contact avec des espèces non aviaires varient de 40 % à 100 % selon les groupes (Figure 58). La présence de rongeurs et d'oiseaux sauvages est quasi universelle (> 95 % des élevages), tandis que les contacts avec les reptiles et prédateurs demeurent élevés, particulièrement dans les zones rurales.

Ces interactions témoignent d'une forte perméabilité écologique des systèmes familiaux et semi-commerciaux, favorisant potentiellement la circulation d'agents pathogènes.

Aucune différence significative n'a été détectée entre systèmes selon la formation initiale des éleveurs (PERMANOVA : pseudo-R<sup>2</sup> = 0,13 ; p = 0,12), ce qui confirme que les facteurs environnementaux et structurels priment sur les variables individuelles dans la détermination du risque d'exposition interspécifique.

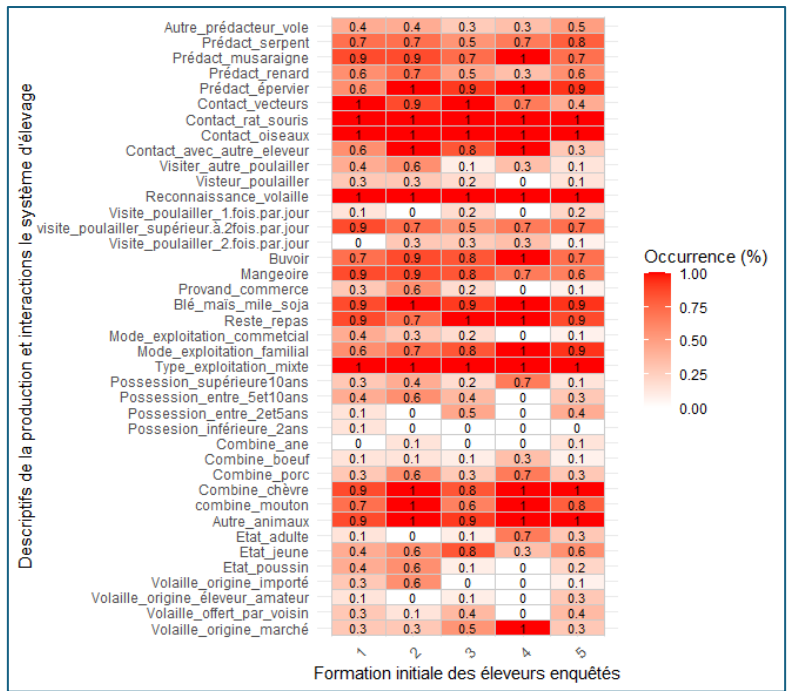


Figure 58: Pratiques avicoles et interactions interspécifiques déclarées par les éleveurs

### Facteurs influençant la diversité des pratiques

L'indice de diversité de Shannon appliqué aux pratiques d'élevage a permis de quantifier la variabilité intra- et inter-systèmes. La régression linéaire multiple indique une influence significative de la région d'élevage, du genre de l'éleveur et de sa formation initiale sur la diversité des pratiques (Tukey HSD,  $p < 0,05$ ). À l'inverse, le statut social et la profession actuelle ne montrent pas d'effet significatif ( $p > 0,05$ ) (Figure 59).

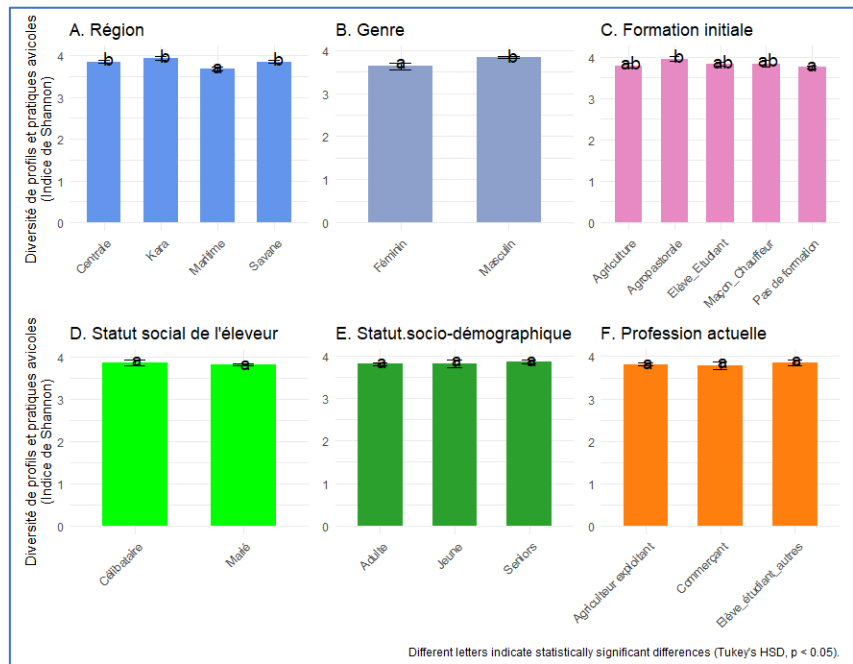


Figure 59: Influence des facteurs extrinsèques et intrinsèques sur la diversité des pratiques avicoles

Interprétations : Ces résultats suggèrent que les pratiques avicoles sont davantage modulées par des facteurs contextuels (environnement, infrastructures, dynamiques locales) et comportementaux (genre, formation), plutôt que par des variables socio-économiques statiques. Ainsi, la diversité des pratiques observée reflète un mélange d'adaptation locale et d'apprentissage empirique, fortement conditionné par la disponibilité de ressources et les réseaux de diffusion technique.

## **Discussion**

Cette étude visait à caractériser la diversité des systèmes, des pratiques et des interactions interspécifiques dans les élevages avicoles du Togo. Au total, 42 élevages ont été enquêtés dont 36 élevages familiaux et 6 élevages semi-commerciaux.

### **Diversité structurelle et fonctionnelle des élevages avicoles**

Les résultats mettent en évidence une grande hétérogénéité structurelle des systèmes avicoles familiaux et semi-commerciaux au Togo, confirmant l'existence de plusieurs profils d'éleveurs différenciés par la taille, la composition et la finalité de la production. Cette diversité rejoint les observations réalisées dans d'autres contextes ouest-africains, notamment au Bénin (Assogba *et al.*, 2022) et au Sénégal (Faye *et al.*, 2020), où coexistent des systèmes extensifs traditionnels et des unités semi-commerciales en phase de transition.

Les cinq clusters identifiés illustrent un continuum entre des exploitations à vocation autoconsommation, caractérisées par une faible intensification, et des systèmes semi-commerciaux diversifiés, mieux intégrés aux marchés urbains. Cette pluralité traduit la plasticité du secteur avicole togolais, capable de s'adapter à la variabilité des ressources et des contraintes locales. Toutefois, cette diversité s'accompagne d'une vulnérabilité structurelle, notamment en matière de gestion sanitaire, de pratiques de reproduction et d'accès aux intrants.

### **Facteurs socio-économiques lié aux genres dans la conduite des élevages**

L'absence de corrélation directe entre la formation initiale et le niveau de production avicole suggère que les savoirs pratiques et les réseaux communautaires jouent un rôle déterminant dans la réussite des élevages. La transmission intergénérationnelle, la collaboration entre voisins et l'apprentissage par observation demeurent les principales voies de formation, comme observé dans plusieurs systèmes avicoles villageois africains (Gorom *et al.*, 2018 ; FAO, 2021). Cependant, la diversité des pratiques apparaît influencée par la formation de base et le genre, ce qui peut s'expliquer par une différence d'accès à l'information, au capital ou aux services vétérinaires. Les hommes, souvent plus mobiles et impliqués dans les réseaux marchands,

disposent d'un accès élargi aux intrants et innovations. Les femmes, bien que moins représentées, jouent un rôle essentiel dans la gestion quotidienne des petits troupeaux et la sécurité alimentaire du foyer — un constat cohérent avec les travaux de Gueye (2000) et sur la contribution féminine à l'aviculture de subsistance.

### **Influence des contextes régionaux et pratiques différenciées**

Les différences régionales observées dans les pratiques de prophylaxie, de gestion des carcasses et d'hygiène des œufs témoignent d'une inégalité d'accès aux ressources vétérinaires et d'un niveau d'encadrement technique variable selon les zones. Les régions des Savanes et Centrale se distinguent par des pratiques plus diversifiées mais plus extensives, probablement en lien avec leur densité du cheptel. À l'inverse, les régions (Kara, Maritime) restent marquées par des pratiques restreintes mais structurées avec un recours plus fréquent aux services vétérinaires, probablement en lien avec leur densité urbaine et la présence d'infrastructures d'appui (coopératives, ou réseaux), reflétant une fracture territoriale dans la diffusion de l'innovation. Cette hétérogénéité spatiale s'accorde avec les constats de FAO (2019) et de Pousga *et al.* (2020), selon lesquels les performances avicoles en Afrique subsaharienne sont fortement conditionnées par l'environnement institutionnel et le maillage vétérinaire.

### **Interactions interspécifiques et risques sanitaires**

L'étude met en évidence une forte perméabilité écologique des élevages familiaux, où les volailles interagissent régulièrement avec d'autres espèces domestiques (moutons, porcs, bovins) et avec la faune sauvage (rongeurs, oiseaux, reptiles). Ces contacts fréquents constituent un facteur de risque majeur pour la transmission d'agents zoonotiques, tels que *Salmonella spp.*, *Campylobacter spp.* ou les virus influenza aviaires (Behraves *et al.*, 2014 ; Alexander *et al.*, 2012).

La quasi-absence de mesures de biosécurité strictes — en particulier l'enfouissement des carcasses, la désinfection des œufs et la limitation des accès à la faune — reflète la réalité des systèmes familiaux à faibles moyens. Ce constat corrobore les études de Bessell *et al.* (2017), qui soulignent le rôle central de la cohabitation interspécifique dans l'émergence et la persistance des maladies aviaires endémiques en Afrique de l'Ouest.

La prévention des zoonoses dans ces contextes ne peut donc reposer uniquement sur la formation technique, mais doit intégrer une approche "Une seule santé" (One Health) combinant sensibilisation communautaire, surveillance participative et amélioration des infrastructures.

### **Diversité des pratiques et implications pour la durabilité**

L'indice de Shannon appliqué aux pratiques d'élevage a mis en évidence une diversité élevée mais inégalement répartie entre régions et groupes d'éleveurs. Cette diversité reflète une capacité d'adaptation locale, mais également une hétérogénéité des standards sanitaires. Les régions disposant d'un meilleur accès à la formation et aux intrants présentent des pratiques plus variées, souvent associées à une meilleure productivité et une réduction des pertes.

Ces observations renforcent l'idée que la diversification des pratiques constitue à la fois un indicateur de résilience et un levier d'amélioration. Toutefois, elle doit s'accompagner d'un appui institutionnel pour éviter l'amplification des disparités entre zones. Un accompagnement ciblé — combinant appui vétérinaire, formation et facilitation de l'accès aux marchés — apparaît essentiel pour garantir la durabilité sanitaire et économique des systèmes avicoles togolais.

### **Validation des hypothèses**

L'ensemble de ces résultats obtenus permettent de discuter la validité des trois hypothèses formulées en introduction.

Les analyses menées ont confirmé les hypothèses de départ : (1) Il existe une diversité structurelle significative d'élevages et de pratiques au sein du système avicole togolais. (2) Ces pratiques sont influencées par les caractéristiques socio-démographiques des éleveurs, leurs objectifs de production et le contexte régional. (3) Les volailles interagissent étroitement avec la faune domestique, sauvage et les vecteurs environnementaux, renforçant ainsi les risques d'exposition zoonotique.

### **Limites de l'étude et perspectives**

L'échantillon restreint ( $n = 42$ ) et le nombre limité d'élevages semi-commerciaux ( $n = 6$ ) imposent une interprétation prudente des résultats statistiques, notamment pour les analyses multivariées. L'étude présente donc un caractère exploratoire, visant à dégager des tendances générales plutôt qu'à établir des relations causales strictes.

Les perspectives de recherche devraient inclure :

- un élargissement de l'échantillon à d'autres régions et saisons,
- l'intégration de données longitudinales sur les performances sanitaires et économiques,
- et l'évaluation de l'impact des interventions de biosécurité communautaire sur la réduction des contacts interspécifiques.

Malgré ces limites, les résultats démontrent que la diversité des systèmes avicoles togolais est structurée par un ensemble de facteurs imbriqués — environnementaux, socio-économiques et comportementaux. Si les pratiques demeurent majoritairement empiriques, elles témoignent

d'une capacité adaptative notable face aux contraintes locales. Cependant, la persistance d'interactions interspécifiques et la faiblesse des mesures de biosécurité soulignent la nécessité d'une stratégie intégrée de renforcement sanitaire et technique, orientée vers la durabilité et la prévention des zoonoses.

## **Conclusion**

Cette étude met en évidence la grande diversité structurelle, fonctionnelle et spatiale des systèmes avicoles familiaux et semi-commerciaux au Togo. Cinq profils d'élevages ont été identifiés, traduisant un continuum entre des systèmes domestiques à faible intensification et des unités semi-commerciales diversifiées. Cette hétérogénéité illustre la capacité d'adaptation des producteurs à la disponibilité locale des ressources, mais souligne également la vulnérabilité sanitaire et économique des petits élevages.

Les analyses multivariées ont montré que la formation initiale des éleveurs n'influence pas directement le niveau de production, mais qu'elle, avec la région d'élevage et le genre, exerce une influence significative sur la diversité des pratiques. Ces résultats traduisent une interaction complexe entre savoirs empiriques, contextes socio-économiques et dynamiques territoriales. Les différences régionales observées en matière de prophylaxie, d'hygiène et de recours aux services vétérinaires reflètent des disparités d'accès à l'encadrement technique et à l'information.

La forte fréquence des interactions interspécifiques — entre volailles, autres animaux domestiques et faune sauvage — met en lumière une porosité écologique caractéristique des systèmes avicoles familiaux. Ces contacts, exacerbés par l'absence de mesures de biosécurité formalisées, constituent un facteur de risque majeur pour l'émergence et la circulation d'agents pathogènes zoonotiques. Le renforcement des dispositifs de prévention sanitaire, fondé sur une approche "Une seule santé", apparaît dès lors indispensable.

En conclusion, cette étude contribue à une meilleure compréhension des dynamiques avicoles togolaises et de leurs implications pour la durabilité et la santé publique. Elle souligne la nécessité de politiques intégrées visant à :

- (i) renforcer la formation et la sensibilisation des éleveurs ;
- (ii) promouvoir la diffusion de pratiques de biosécurité adaptées aux contraintes locales ;
- (iii) encourager la structuration des filières familiales et semi-commerciales pour améliorer leur résilience et leur rentabilité.

Ces résultats constituent une base empirique utile pour orienter les futures interventions publiques et les recherches appliquées sur la transition durable des systèmes avicoles au Togo et en Afrique de l'Ouest.

Référence : voir la bibliographie de la thèse

## **DISCUSSION, CONCLUSION ET PERSPECTIVES GÉNÉRALES**

## Discussion générale de la thèse

### Introduction intégrative

Les travaux développés dans cette thèse s'inscrivent dans le cadre conceptuel de l'approche One Health, qui met en lumière les interconnexions étroites entre la santé humaine, la santé animale et la santé des écosystèmes (Destoumieux-Garzón *et al.*, 2018). Dans un contexte mondial marqué par la recrudescence des zoonoses, représentant près de 60 % des maladies infectieuses émergentes (Jones *et al.*, 2008), ce paradigme systémique constitue un cadre analytique particulièrement pertinent pour appréhender les interactions complexes entre hôtes, pathogènes et environnement.

L'objectif général de cette recherche était de comprendre comment ces interactions s'organisent et se maintiennent dans des contextes écologiques et socio-économiques contrastés, à travers l'étude comparative de modèles urbains et péri-urbains situés en zones tropicales et tempérées. Cette approche a permis d'examiner les dynamiques épidémiologiques selon des gradients de biodiversité, de densité d'hôtes et de pressions anthropiques.

Cinq objectifs spécifiques ont structuré l'ensemble du travail : (i) Étudier la structure et la dynamique écologique des populations de rats urbains dans deux environnements contrastés (Strasbourg, France, et Lomé, Togo) ; (ii) Analyser la diversité et la circulation des agents pathogènes hébergés par ces populations murines ; (iii) Explorer l'interface *rats-volailles-environnement* comme zone de contact interspécifique à risque zoonotique ; (iv) Approfondir l'étude de l'interaction *hôte-pathogène-environnement* dans le cas des poulets d'élevage au Togo ; (v) Étudier la diversité des systèmes d'élevage, des pratiques et des interactions interspécifiques dans les exploitations avicoles togolaises.

Ce dispositif analytique a permis d'aborder la zoonose comme un phénomène écosystémique, au croisement de la biologie, de l'écologie et des sciences sociales. Il offre une vision intégrée des processus d'émergence et de persistance des agents infectieux, reliant les échelles micro-écologiques (sites d'élevage, réseaux d'égouts) aux échelles paysagères et comportementales. Par cette approche, la thèse met en évidence la nécessité d'une lecture transversale des déterminants biologiques, environnementaux et socio-économiques de la santé, condition essentielle pour comprendre et anticiper les risques zoonotiques dans une perspective *One Health*.

## Écologie urbaine des rats : convergences et contrastes

Les analyses écologiques menées à Strasbourg et à Lomé confirment que l'urbanisation exerce une influence majeure sur la structure et la dynamique des populations de rats. Dans les deux contextes étudiés, les rongeurs exploitent préférentiellement les milieux fortement anthropisés, où la disponibilité alimentaire, la densité humaine et la configuration des habitats favorisent leur installation et leur reproduction. Ces observations corroborent les travaux de Himsforth *et al.* (2014) et de Parsons *et al.* (2017), qui soulignent que les environnements urbains constituent des écosystèmes particulièrement favorables aux espèces synanthropiques, notamment *Rattus norvegicus* et *Rattus rattus*.

Cependant, les contrastes observés entre Strasbourg et Lomé mettent en évidence l'influence déterminante du contexte écologique, climatique et socio-économique sur la composition et la structure des communautés de rongeurs urbains. À Strasbourg, la domination de *R. norvegicus* traduit sa forte plasticité écologique et sa capacité d'adaptation aux milieux tempérés et densément urbanisés. À Lomé, la coexistence de plusieurs espèces, dont *Arvicanthis niloticus*, *Mastomys natalensis* et *Cricetomys gambianus*, illustre une mosaïque écologique plus diversifiée où les gradients d'urbanisation et la variété des habitats périurbains offrent des niches distinctes. Cette différence inter-sites montre que la composition spécifique des communautés de rongeurs urbains dépend non seulement des conditions environnementales et climatiques, mais aussi des dynamiques socio-spatiales propres à chaque ville.

La variabilité morphologique observée entre les populations de rats des deux villes, notamment la taille et la masse corporelle plus élevées des mâles à Strasbourg, peut être interprétée comme une réponse adaptative à des conditions environnementales plus stables et à une abondance relative de ressources. Ces différences pourraient également refléter des pressions sélectives différenciées ou des régimes nutritionnels distincts, liés aux modes de gestion des déchets et à la densité humaine. De telles variations morphologiques ont déjà été rapportées chez des populations urbaines de rongeurs (Gardner-Santana *et al.*, 2009 ; Desvars-Larrive *et al.*, 2018).

Par ailleurs, la diversité relativement faible des ectoparasites identifiés, bien que variable entre les sites, confirme le rôle des rats comme hôtes potentiels de parasites et vecteurs de pathogènes zoonotiques. Ces résultats appuient l'hypothèse selon laquelle la structure écologique des populations de rats, combinée à la densité urbaine et à la gestion des déchets, influence directement le risque d'exposition des populations humaines aux agents infectieux (Morand, 2015 ; Cummings *et al.*, 2021).

Dans une perspective plus large, cette étude met en évidence la nécessité d'aborder la question des rongeurs urbains au moyen d'une approche intégrée, combinant les dimensions écologiques, sociales et sanitaires. À Lomé, les lacunes en matière de gestion des déchets et de planification urbaine semblent favoriser la prolifération et la diversité des espèces commensales, tandis qu'à Strasbourg, la maîtrise relative des infrastructures et des programmes de dératisation témoigne d'une gestion plus centralisée, quoiqu'encore perfectible. Ces contrastes suggèrent que la lutte contre les populations de rats doit être adaptée au contexte local, en tenant compte des spécificités écologiques et socio-économiques de chaque ville.

Dans l'ensemble, cette comparaison entre Lomé et Strasbourg illustre la plasticité écologique des rats urbains et l'importance des interactions entre facteurs biotiques et anthropiques dans la structuration de leurs populations. Ces résultats constituent une base essentielle pour la compréhension des dynamiques épidémiologiques abordées dans les sections suivantes, consacré aux interactions hôte–pathogène–environnement dans les mêmes contextes urbains.

### **Facteurs environnementaux et anthropiques**

Les analyses multivariées (GLMM, CCA) ont mis en évidence le rôle déterminant des facteurs anthropiques dans la structuration des populations murines urbaines. Parmi les variables les plus influentes figurent la densité humaine, la gestion des déchets et la présence de points d'eau urbains, qui apparaissent comme des déterminants majeurs de l'abondance et de la distribution des rats (Costa *et al.*, 2018). Ces facteurs traduisent le degré d'anthropisation du milieu et conditionnent à la fois la disponibilité des ressources et la connectivité des habitats.

À Strasbourg, les populations de *Rattus norvegicus* se concentrent principalement dans les zones caractérisées par une forte accumulation de déchets organiques et une proximité immédiate avec le réseau d'assainissement. Ces milieux fournissent à la fois de la nourriture, un abri et une stabilité thermique, favorisant la persistance des colonies. À Lomé, l'abondance murine est davantage corrélée à la présence de points d'eau stagnante, de végétation dense et d'habitats précaires. Ces différences illustrent la manière dont la structure socio-spatiale urbaine module les dynamiques écologiques des rongeurs, confirmant l'influence combinée des paramètres environnementaux et anthropiques (Ibrahim Danzabarma *et al.*, 2025).

La gestion environnementale et la planification urbaine exercent ainsi un effet direct sur le risque zoonotique, en modulant la densité et la connectivité des populations hôtes (Desvars-Larrive *et al.*, 2017). Dans les environnements à forte densité humaines et aux infrastructures dégradées, les échanges entre colonies sont facilités, augmentant la probabilité de transmission intra- et interspécifique des agents pathogènes. À l'inverse, dans les espaces mieux structurés,

la compartimentation des habitats peut limiter la propagation des infections, sans toutefois éliminer totalement le risque (Himsworth *et al.* 2013).

Ces résultats appellent à une intégration plus étroite des dimensions écologiques dans les politiques urbaines de santé publique. Les programmes de lutte contre les rats devraient dépasser la simple dératisation ponctuelle pour inclure des mesures de gestion environnementale durable : amélioration de la collecte et du traitement des déchets, assainissement des points d'eau, entretien régulier des canalisations et sensibilisation communautaire à l'hygiène et à la salubrité. Une telle approche, fondée sur le principe *One Health*, permettrait de réduire simultanément la pression écologique exercée par les rongeurs et le risque zoonotique associé.

### **Dynamiques pathogènes et parasitaires**

L'analyse comparative des infections observées chez les rats urbains à Strasbourg et à Lomé révèle des régimes infectieux contrastés, façonnés par la structure des communautés hôtes de rongeurs, les conditions environnementales et la diversité des agents pathogènes circulant. Ces résultats illustrent la complexité des interactions *hôte–pathogène–environnement* et confirment la pertinence d'une approche écosystémique pour l'étude des zoonoses urbaines.

À Strasbourg, la dominance quasi exclusive de *Rattus norvegicus* favorise des réseaux de transmission homogènes et une circulation amplifiée des agents infectieux. Cette homogénéité, combinée à la densité élevée des populations et à la connectivité des habitats urbains, crée un système propice à la persistance des pathogènes. Ce constat rejoint les observations de Himsworth *et al.* (2013) et de Parsons *et al.* (2017), qui soulignent que les environnements monospécifiques densément urbanisés tendent à accroître le risque d'épidémies intra-spécifiques, notamment pour des agents tels que *Leptospira* ou *Bartonella*.

À l'inverse, à Lomé, la coexistence de plusieurs espèces de rongeurs commensales et péri-domestiques (*Rattus rattus*, *Rattus norvegicus*, *Mastomys natalensis*, *Arvicanthis niloticus*, *Cricetomys gambianus*) engendre une structuration plus hétérogène des infections. Cette diversité interspécifique pourrait atténuer la diffusion uniforme des pathogènes en limitant les chaînes de transmission continues, tout en complexifiant les interactions épidémiologiques, notamment en présence de co-infections multiples. Ces résultats illustrent l'effet modulateur de la diversité des hôtes dans les systèmes multi-espèces, tel que décrit par Johnson *et al.* (2015) et Young *et al.* (2017), où la richesse spécifique peut réduire ou amplifier la circulation des agents infectieux selon la compétence des hôtes impliqués.

À Strasbourg, la circulation d'agents tels que *Leptospira interrogans*, le virus de l'hépatite E (HEV-C1) ou *Toxoplasma gondii* semble relativement homogène et persistante, traduisant un régime endémique typique des systèmes monospécifiques de rongeurs densément connectés. À Lomé, les infections présentent une distribution hétérogène et espèce-dépendante, caractéristique d'un régime épidémique plus fluctuant, en lien avec les variations environnementales et la diversité des hôtes rongeurs (Morand, 2015). Les co-infections y sont fréquentes et pourraient impliquer des interactions synergiques entre agents pathogènes, susceptibles d'accroître la virulence ou la transmissibilité (Pedersen & Fenton, 2007), bien que ces effets nécessitent des confirmations moléculaires.

Ces contrastes montrent que la diversité des hôtes et la densité des populations exercent des effets non linéaires sur la dynamique des infections : la richesse spécifique accroît la complexité des interactions épidémiologiques, tandis que la densité homogène favorise la persistance et l'endémisation des pathogènes (Keesing *et al.*, 2010 ; Johnson *et al.*, 2020). Dans cette perspective, la compréhension des zoonoses urbaines requiert une lecture systémique des interactions entre hôtes, pathogènes et environnement, tenant compte des dynamiques spatiales, comportementales et écologiques propres à chaque milieu.

L'approche intégrée adoptée dans cette étude — combinant données écologiques, environnementales et microbiologiques — confirme la pertinence du cadre conceptuel *One Health*. Elle met en évidence la nécessité d'une surveillance épidémiologique différenciée : intensive et ciblée dans les systèmes monospécifiques de rongeurs tels que Strasbourg, mais plus diversifiée et communautaire dans les contextes multi-hôtes de rongeurs comme Lomé. Ces résultats contribuent ainsi à une meilleure compréhension des mécanismes écologiques et comportementaux qui sous-tendent l'émergence, la persistance et la diffusion des agents zoonotiques en milieu urbain.

### **Structuration éco-épidémiologique des interactions**

Les analyses intégratives (MCA, PERMANOVA, CCA) ont permis de mettre en évidence que la structuration des profils infectieux chez les rats urbains découle d'une interaction dynamique entre les traits d'espèce, les conditions environnementales et les facteurs anthropiques. Cette approche éco-épidémiologique met en lumière la dimension systémique de la transmission zoonotique dans les milieux urbains contrastés étudiés.

À Strasbourg, la circulation des pathogènes apparaît stable et homogène, traduisant un régime endémique dans un environnement monospécifique densément connecté. À Lomé, la diversité interspécifique et la variabilité environnementale génèrent un paysage infectieux plus

fragmenté, conforme au modèle du *landscape of infection* décrit par Paull *et al.* (2012). Ces différences illustrent la manière dont la topologie urbaine — connectivité des habitats, densité humaine et mobilité des hôtes — influence directement la diffusion des agents zoonotiques.

Les résultats obtenus confirment que les populations de rats ne sont pas uniquement des réservoirs passifs d'agents pathogènes, mais également des indicateurs écologiques de la santé urbaine (Himsworth *et al.*, 2013). En ce sens, leur étude contribue à une lecture spatiale et écologique de l'épidémiologie, dépassant les approches strictement médicales ou descriptives (Morand, 2015). La dynamique observée dans les deux villes illustre deux logiques complémentaires : la stabilité endémique des systèmes homogènes et la variabilité épidémique des systèmes multi-hôtes.

L'ensemble de ces résultats renforce l'importance d'une approche intégrée pour la compréhension des zoonoses urbaines. Les gradients de densité, de diversité et de connectivité urbaine apparaissent comme des déterminants majeurs de la structure des réseaux infectieux. En reliant ces éléments, cette recherche contribue à l'élaboration d'un cadre éco-épidémiologique unifié, où les processus biologiques et sociaux interagissent dans la co-construction du risque zoonotique. Cette perspective ouvre la voie à des stratégies de surveillance et de gestion différenciées selon la configuration écologique et sociale des environnements urbains.

Les sections précédentes ont permis d'établir les fondements écologiques et épidémiologiques des zoonoses urbaines à partir du modèle des rats, considérés comme hôtes commensaux et réservoirs majeurs d'agents pathogènes. Ces analyses ont montré comment les gradients de diversité, de densité et d'anthropisation structurent les dynamiques d'infection et façonnent les réseaux de transmission au sein des environnements urbains.

Dans la continuité de cette approche, la seconde partie de la discussion élargit la réflexion vers les interfaces écologiques où se croisent faune commensale, animaux domestiques et humains, notamment à travers l'étude des interactions rats–volailles–environnement, puis celle des poulets d'élevage eux-mêmes comme modèles d'hôtes domestiques dans un contexte tropical. Enfin, l'analyse de la diversité des systèmes et pratiques avicoles au Togo permet de replacer l'ensemble dans une perspective socio-écologique intégrée, afin de mieux comprendre comment les dynamiques biologiques s'articulent aux dimensions structurelles et comportementales des systèmes d'élevage.

## **Interactions rats–volailles–environnement : une interface critique pour les zoonoses émergentes**

Les résultats obtenus dans les élevages avicoles togolais mettent en évidence une interface écologique majeure pour la compréhension des dynamiques zoonotiques : celle qui relie les rats et les volailles dans les systèmes d'élevage. Cette zone de contact illustre la porosité écologique des environnements tropicaux où faune commensale, animaux domestiques et humains partagent les mêmes ressources et les mêmes habitats.

Les observations de terrain ont révélé une cohabitation étroite entre *Rattus rattus*, *R. norvegicus* et les volailles domestiques, ces espèces utilisant souvent les mêmes sources de nourriture et les mêmes abris, notamment dans les exploitations familiales et semi-commerciales. Ce chevauchement spatial et trophique crée des conditions favorables à la transmission d'agents pathogènes communs tels que *Plasmodium* spp., *Staphylococcus* spp., *Pasteurella* spp., *Mansonella* spp. et *Brugia* spp. (Meerburg *et al.*, 2009, Samir *et al.*, 2015). La co-occurrence de ces agents chez les deux hôtes suggère l'existence de réservoirs épidémiologiques partagés, où les rats peuvent agir selon le contexte comme vecteurs mécaniques ou réservoirs secondaires (Ramatla *et al.*, 2023).

Les taux de co-infection diffèrent nettement entre espèces : les volailles présentent la fréquence la plus élevée (26,1 %), suivies de *R. rattus* (13,1 %) et *R. norvegicus* (4,4 %). Ces différences reflètent à la fois des stratégies immunitaires distinctes et des expositions différentielles aux pathogènes, liées aux niches écologiques occupées (Luis *et al.*, 2013). Par ailleurs, les lésions pulmonaires et génitales observées chez les rats — souvent associées à *Pasteurella multocida*, *Staphylococcus* spp. ou *Bordetella bronchiseptica* — renforcent l'hypothèse d'un cycle infectieux interspécifique impliquant des bactéries opportunistes communes aux volailles (Mghiry *et al.*, 2024). Ces observations, bien que fondées sur des données histologiques et microbiologiques exploratoires, illustrent la complexité et la perméabilité des cycles infectieux à l'interface faune domestique–faune commensale.

Ainsi, cette interface *rats–volailles–environnement* constitue un continuum épidémiologique dans lequel les agents pathogènes peuvent circuler par diverses voies : contamination de l'environnement, contact indirect via les excréments ou transmission mécanique. Ces processus, déjà décrits dans d'autres systèmes tropicaux (Firth *et al.*, 2014), mettent en évidence l'importance des conditions d'hygiène et des pratiques d'élevage dans la modulation du risque zoonotique.

Dans ce contexte, les résultats soulignent la nécessité d'intégrer la biosécurité et la surveillance épidémiologique dans les exploitations avicoles togolaise. Les mesures de prévention devraient

inclure le contrôle des rongeurs, la gestion des déchets organiques, la séparation fonctionnelle des espaces de stockage et d'élevage, ainsi que la formation des éleveurs aux risques zoonotiques. L'approche *One Health* offre ici un cadre conceptuel et opérationnel permettant de concevoir des stratégies adaptées aux réalités locales, en associant les dimensions biologiques, environnementales et socio-économiques de la santé (Morand, 2015).

En définitive, cette étude met en lumière l'interface *rats-volailles-environnement* comme un point critique de circulation interspécifique des pathogènes, où se croisent les dynamiques écologiques et anthropiques. Elle illustre la nécessité d'une gestion intégrée des milieux d'élevage, afin de limiter les échanges pathogéniques entre faune sauvage, faune domestique et populations humaines, et de prévenir ainsi les conditions propices à l'émergence zoonotique.

### **Interaction hôte–pathogène–environnement chez les poulets d'élevage**

L'étude approfondie menée sur les poulets d'élevage au Togo prolonge la réflexion sur les dynamiques *hôte–pathogène–environnement* en se focalisant sur les hôtes domestiques. Les analyses révèlent une diversité remarquable d'agents pathogènes — *Plasmodium* spp., *Haemoproteus* spp., *Trypanosoma* spp., *Histoplasma* spp., *Campylobacter* spp., *Mycobacterium* spp., *Staphylococcus* spp. et *Pasteurella* spp. — témoignant d'un écosystème infectieux riche et complexe (Morand, 2015 ; Han *et al.*, 2015). Cette diversité traduit la forte perméabilité écologique des systèmes d'élevage familiaux togolais où la proximité entre animaux domestiques, faune synanthropique et humains crée des opportunités multiples de circulation microbienne.

Les taux élevés de co-infections, atteignant jusqu'à 70 % des individus échantillonnés, indiquent une coexistence fréquente de plusieurs agents infectieux. Ces co-infections pourraient engendrer des interactions synergiques susceptibles d'accroître la virulence ou de perturber la réponse immunitaire des hôtes (Pedersen & Fenton, 2007). Toutefois, ces relations demeurent hypothétiques en l'absence de données moléculaires longitudinales permettant d'en confirmer la nature causale.

La structuration spatio-temporelle des infections est influencée par des facteurs environnementaux tels que la saison, la pluviométrie, la température et la couverture végétale (NDVI). Ces variables, associées au type d'élevage, modulent la diversité et la prévalence des pathogènes, soulignant la sensibilité des systèmes avicoles à la variabilité écologique (Johnson *et al.*, 2020). Les élevages familiaux, souvent ouverts et faiblement confinés, présentent une diversité pathogénique plus élevée que les unités semi-commerciales, mieux contrôlées et plus

isolées (Conan *et al.*, 2012). Ces différences traduisent le rôle des pratiques d'élevage et des conditions environnementales dans la structuration des assemblages infectieux.

Comparées aux observations réalisées chez les rats, les dynamiques infectieuses des volailles diffèrent par la prédominance de transmissions vectorielles et environnementales plutôt que directes. Cependant, les deux systèmes sont interconnectés par plusieurs agents pathogènes communs, notamment *Staphylococcus* spp. et *Pasteurella* spp., confirmant la continuité éco-épidémiologique entre les compartiments commensal et domestique (Firth *et al.*, 2014 ; Gage *et al.*, 2020). Les poulets apparaissent ainsi comme des sentinelles épidémiologiques, révélant la circulation de pathogènes à l'interface faune-élevage-humain.

Ainsi, le renforcement de la biosécurité, la formation communautaire des éleveurs et le développement de la surveillance éco-épidémiologique apparaissent comme des priorités stratégiques pour réduire les risques zoonotiques. Ces mesures contribueraient à améliorer la durabilité sanitaire et alimentaire des élevages familiaux togolais, tout en renforçant la résilience de ces systèmes face aux pressions écologiques et sanitaires croissantes.

### **Diversité des systèmes, des pratiques et des interactions interspécifiques dans les élevages avicoles du Togo**

Les investigations menées à l'échelle nationale ont permis d'établir un portrait structurel et fonctionnel des élevages avicoles togolais, révélant une mosaïque de systèmes de production allant de l'élevage familial de subsistance aux unités semi-commerciales. Cette diversité reflète l'hétérogénéité des contextes écologiques, économiques et sociaux dans lesquels s'inscrivent les pratiques d'élevage au Togo.

L'analyse typologique (ACP, CAH, PERMANOVA) a permis d'identifier cinq profils d'élevages différenciés par la taille, la composition des troupeaux, la diversification interspécifique et les pratiques de gestion. Cette typologie met en évidence une forte hétérogénéité technique et structurelle (Alders & Pym, 2009 ; Guèye, 2000). La majorité des exploitations (près de 85 %) sont familiales, extensives et faiblement mécanisées, caractérisées par une biosécurité minimale et une cohabitation étroite entre humains, volailles et autres animaux domestiques ou sauvages. Ces conditions favorisent des contacts interspécifiques fréquents — recensés dans 95 % des élevages — et témoignent d'une forte porosité écologique (Firth *et al.*, 2014 ; Han *et al.*, 2015).

La diversité des pratiques sanitaires observées — utilisation irrégulière de traitements, nettoyage aléatoire des bâtiments, gestion approximative des fientes — reflète la vulnérabilité des systèmes d'élevage face aux risques infectieux (Anderson *et al.*, 2016). Cette hétérogénéité

traduit la coexistence de pratiques traditionnelles et de démarches plus modernisées, souvent influencées par les contraintes économiques et l'accès différencié à la formation et aux intrants vétérinaires. Les analyses statistiques confirment le rôle des facteurs sociaux dans la structuration de ces pratiques : le genre, le niveau de formation et la localisation géographique des exploitations apparaissent comme des variables explicatives majeures (Delabougliise *et al.*, 2016).

L'absence de différenciation nette entre systèmes familiaux et semi-commerciaux indique que, malgré une meilleure organisation apparente, les structures semi-commerciales restent exposées à des flux infectieux extérieurs. Cette faible étanchéité épidémiologique rappelle les situations observées avant certains épisodes de grippe aviaire en Asie du Sud-Est (Senne *et al.*, 2006 ; FAO, 2021). Ainsi, la diversité des systèmes d'élevage constitue à la fois un facteur de résilience — en favorisant l'adaptation locale — et un facteur de risque, en complexifiant les réseaux de transmission pathogène.

Dans une perspective *One Health*, cette typologie constitue un outil stratégique pour cibler les interventions. L'amélioration de la biosécurité dans les systèmes familiaux, la formation des éleveurs dans les unités semi-commerciales et la valorisation des pratiques durables dans les élevages diversifiés apparaissent comme des leviers prioritaires (Morand, 2015). Ces actions permettraient de renforcer la prévention des zoonoses tout en soutenant la durabilité économique et sociale du secteur avicole.

La combinaison des analyses statistiques (ACP, ACM, CAH, PERMANOVA, SIMPER et indice de Shannon) a permis d'établir un modèle intégré reliant la structure des élevages, leurs pratiques et leurs niveaux de risque. Les petits élevages familiaux récents se caractérisent par une faible diversité de pratiques, une maîtrise sanitaire limitée et une forte exposition environnementale. Les exploitations plus grandes et diversifiées, souvent proches des zones urbaines, adoptent des pratiques plus structurées, bien qu'encore incomplètes sur le plan de la biosécurité. Ce gradient illustre la corrélation entre capitalisation économique, accès à l'information et adoption des innovations.

Les différences entre hommes et femmes observées dans la diversité des pratiques mettent en évidence la persistance d'inégalités de genre dans l'accès aux ressources et à la formation. Toutefois, la contribution féminine demeure essentielle à la résilience des systèmes familiaux, notamment par la gestion quotidienne, la reproduction et la commercialisation de proximité. Ces constats plaident pour une modernisation inclusive du secteur avicole, intégrant le rôle central des femmes dans la transmission des savoirs et la sécurité alimentaire.

En définitive, cette étude souligne que la durabilité sanitaire et socio-économique des élevages avicoles togolais dépend d'une compréhension fine des interactions entre pratiques humaines, structures de production et dynamiques écologiques. La diversité des systèmes d'élevage apparaît ainsi comme une clé de lecture essentielle pour concevoir des stratégies adaptées de prévention et de développement dans une perspective *One Health*.

L'ensemble des analyses présentées dans cette discussion met en évidence la complexité et la cohérence des dynamiques observées entre hôtes, pathogènes et environnements dans les différents contextes étudiés. Ces résultats soulignent le rôle déterminant des facteurs écologiques, climatiques, anthropiques et comportementaux dans la structuration des systèmes infectieux. Afin d'évaluer la portée de ces observations au regard du cadre conceptuel initial, il est pertinent de revenir sur la validation des hypothèses formulées en problématique de cette recherche.

### **Validation des hypothèses**

Les résultats obtenus au cours de cette étude confirment globalement les hypothèses de départ. Les analyses comparatives entre Strasbourg et Lomé valident d'abord l'existence de dynamiques écologiques distinctes des populations murines, directement façonnées par les contextes environnementaux et socio-urbains. La diversité et la circulation des agents pathogènes apparaissent modulées par la composition des communautés hôtes et par les pressions anthropiques, confirmant l'influence déterminante du contexte socio-écologique. L'étude de l'interface rats-volailles-environnement met en évidence des échanges infectieux interspécifiques et une forte perméabilité écologique entre faune commensale et domestique. Chez les poulets d'élevage, la diversité pathogénique et la sensibilité aux variables environnementales valident l'importance des pratiques d'élevage et du milieu dans la dynamique des infections. Enfin, la diversité structurelle et fonctionnelle des systèmes avicoles togolais confirme que les profils techniques et les pratiques influencent directement le niveau de risque zoonotique. Dans leur ensemble, ces observations valident ou nuancent positivement les hypothèses formulées et démontrent la pertinence du cadre conceptuel fondé sur les interactions hôte-pathogène-environnement, confortant ainsi la portée intégrative de l'approche *One Health* adoptée dans ce travail.

Dans l'ensemble, la validation de ces hypothèses confirme la solidité scientifique du cadre conceptuel initial et la cohérence de la démarche interdisciplinaire mise en œuvre. Elle met en

lumière la valeur explicative du paradigme One Health pour comprendre les dynamiques zoonotiques dans des contextes écologiques contrastés. Ces constats fournissent les bases d'une synthèse globale des principaux enseignements scientifiques et méthodologiques, présentée dans la conclusion générale qui suit.

## **Conclusion et perspectives générales**

### **Rappel du contexte et des enjeux**

Cette thèse met en évidence que les zoonoses émergent de la coévolution complexe des interactions écologiques, sociales et sanitaires entre hôtes, pathogènes et environnement. Dans un contexte de transformations rapides des milieux urbains et ruraux, l'approche *One Health* s'impose comme un cadre de compréhension et d'action indispensable. Elle permet de relier la dynamique biologique des infections aux dimensions socio-économiques et comportementales qui conditionnent leur émergence et leur persistance.

### **Synthèse des principaux résultats**

Les travaux présentés démontrent que la structure des communautés hôtes et les conditions écologiques locales façonnent profondément les dynamiques infectieuses :

- **Plasticité écologique des rats et dynamiques zoonotiques urbaines :**

À Strasbourg, la communauté murine est quasi monospécifique (*Rattus norvegicus*), favorisant une diffusion homogène des pathogènes et un régime infectieux récurrent stable. La diversité pathogène y augmente avec l'âge et la taille des individus, suggérant un effet cumulatif de l'exposition dans un environnement fortement anthropisé.

À Lomé, la communauté multi-hôte (*R. norvegicus*, *R. rattus*, *A. niloticus*, *M. natalensis*, *C. gambianus*) engendre une circulation infectieuse plus fragmentée et variable. La richesse en pathogènes est globalement plus élevée, mais la prévalence spécifique plus hétérogène, reflétant l'effet modulant de la diversité sur la diffusion des agents infectieux.

Ainsi, Strasbourg illustre un modèle de transmission amplifiée et homogène, tandis que Lomé représente un système plus complexe et instable, façonné par la diversité des hôtes et l'hétérogénéité environnementale.

- **Interfaces rats–volailles–environnement : zones critiques de transmission interspécifique**

Les analyses ont révélé la co-occurrence d'agents pathogènes chez les deux hôtes, suggérant l'existence de réservoirs épidémiologiques partagés. Ces interfaces constituent des points

chauds potentiels d'émergence, particulièrement dans les systèmes tropicaux ouverts où la promiscuité entre faune domestique et commensale est élevée.

- **Interactions hôte–pathogène–environnement chez les poulets d'élevage :**

L'étude menée au Togo a mis en évidence une grande diversité d'agents infectieux (*Plasmodium*, *Haemoproteus*, *Trypanosoma*, *Histoplasma*, *Campylobacter*, *Mycobacterium*, *Staphylococcus*, *Pasteurella*). Les co-infections, fréquentes, traduisent la complexité des réseaux infectieux dans les systèmes avicoles togolais. Ces infections sont modulées par des facteurs environnementaux (pluviométrie, saison, couverture végétale) et par les pratiques d'élevage, notamment le confinement, l'hygiène et le suivi vétérinaire.

Les élevages familiaux, plus exposés à la faune synanthropique et aux vecteurs, présentent une diversité pathogénique plus élevée que les structures semi-commerciales mieux contrôlées. Ces résultats soulignent la vulnérabilité des systèmes extensifs et le rôle des poulets comme sentinelles écosystémiques, révélant les circulations microbiennes à l'interface faune–élevage–humain.

- **Systèmes d'élevage togolais : diversité, vulnérabilité et potentiel de surveillance.**

Les élevages familiaux togolais, caractérisés par leur hétérogénéité structurelle et la faiblesse de leurs mesures de biosécurité, apparaissent à la fois comme des zones de vulnérabilité et comme des lieux privilégiés d'observation des dynamiques zoonotiques. Les co-infections multiples et la forte influence des variables environnementales sur la distribution des pathogènes témoignent d'un écosystème infectieux à la fois instable et hautement sensible aux perturbations.

### **Apports scientifiques et méthodologiques**

En articulant les échelles d'analyse — du gène à l'écosystème, et du local au global — cette recherche illustre la pertinence de l'approche *One Health* comme cadre conceptuel et opérationnel pour la compréhension des zoonoses.

- **Sur le plan conceptuel**, la thèse confirme que ni l'hôte, ni le pathogène, ni l'environnement ne peuvent expliquer seuls l'émergence des maladies. C'est bien leur interaction dynamique qui détermine les trajectoires infectieuses.
- **Sur le plan écologique et épidémiologique**, elle documente de manière comparative la richesse et la diversité des agents pathogènes associés aux rats et aux volailles dans des contextes écologiques contrastés, tout en identifiant des mécanismes convergents de maintien des infections.

- **Sur le plan méthodologique**, elle mobilise un ensemble cohérent d'outils — analyses morphologiques, parasitologiques, bactériologiques, virologiques, indices de diversité et analyses multivariées (ACM, PERMANOVA, SIMPER, CCA) — permettant une approche intégrée et robuste.
- Dans le domaine de l'aviculture, la combinaison d'analyses multivariées (ACP, PERMANOVA, SIMPER, CCA, ACM) a permis d'explorer de manière systémique les relations entre pratiques, milieux et infections, constituant une base solide pour le développement de modèles éco-épidémiologiques appliqués.

Cette démarche interdisciplinaire offre ainsi un cadre transférable à d'autres systèmes d'étude des zoonoses, notamment dans les contextes à forte densité humaine et à biodiversité fonctionnelle élevée.

### **Implications pour la santé publique, animale, gestion urbaine et pratiques avicoles**

Cette thèse invite à concevoir la santé publique comme un bien commun écologique, fondé sur une cohabitation raisonnée entre les sociétés humaines et les autres formes de vie dans un environnement partagé.

- **Concernant les zoonoses liées aux rongeurs**, les résultats soulignent la nécessité d'approches différenciées :
  - Dans les contextes monospécifiques (ex. Strasbourg), la surveillance doit cibler *R. norvegicus* et être accompagnée de politiques de gestion des déchets et d'entretien des infrastructures pour réduire la densité des populations et les contacts avec l'humain.
  - Dans les contextes multi-hôtes (ex. Lomé), la prévention doit intégrer la diversité des rongeurs commensaux et péri-domestiques, en combinant assainissement, gestion de l'eau et surveillance multi-espèces.
- **Concernant les zoonoses associées aux volailles**, les priorités identifiées concernent :
  - le renforcement de la biosécurité et de la surveillance participative dans les élevages familiaux ;
  - la formation et la sensibilisation des éleveurs ;
  - l'amélioration de l'accès aux services vétérinaires et aux intrants de qualité ;

- la réduction des contacts interspécifiques entre faune sauvage, domestique et humaine.

Ces orientations s'inscrivent dans les recommandations de la FAO et de l'OIE en matière de prévention intégrée des zoonoses dans les systèmes à faible confinement (FAO, OIE & OMS, 2021).

À plus long terme, la reconnaissance du rôle des volailles locales comme *sentinelles écosystémiques* pourrait contribuer à une meilleure anticipation des émergences zoonotiques et à l'élaboration de systèmes de veille participatifs adaptés aux réalités locales.

### **Limites et perspectives de recherche**

Certaines limites de ce travail ouvrent des pistes de recherche futures. Les principales concernent :

- la taille des échantillons et la durée relativement courte des suivis (deux ans) ;
- l'absence de données génétiques permettant de tracer finement les transmissions croisées entre espèces et sites ;
- et les contraintes liées à la détection microscopique, qui ne permettent pas toujours d'identifier les pathogènes à un niveau spécifique.

Ces limites offrent néanmoins des perspectives concrètes :

- la mise en place de suivis longitudinaux intégrés *rats–volailles–environnement* pour saisir la dynamique temporelle des infections ;
- l'utilisation d'outils métagénomiques et de techniques séquençage à haut débit pour caractériser la composition microbienne et les co-infections ;
- le développement de modèles de réseaux multi-hôtes intégrant les comportements humains et animaux (Morand, 2015).

Ces approches permettront de mieux comprendre la connectivité épidémiologique entre milieux urbains et ruraux, et de renforcer la conception de politiques de santé publique intégrées.

### **Conclusion finale**

En définitive, cette recherche démontre que la compréhension des dynamiques zoonotiques repose sur une lecture intégrée des interactions entre hôtes, pathogènes et environnement.

Les comparaisons entre Strasbourg et Lomé illustrent deux modèles écologiques complémentaires :

- le premier, monospécifique, met en évidence la concentration et l'amplification du risque infectieux dans des populations homogènes ;

- le second, multi-hôte, révèle la fragmentation et la complexité des réseaux de transmission dans des contextes écologiques et sociaux hétérogènes.

Dans les systèmes avicoles togolais, l'étude confirme la complexité des interactions biologiques et humaines qui conditionnent la santé animale et publique. Elle montre que la durabilité sanitaire et économique de ces systèmes dépend d'une compréhension fine des relations écologiques, économiques et sociales qui les structurent.

Ainsi, l'approche *One Health* s'affirme non seulement comme un paradigme scientifique, mais également comme un outil opérationnel de gouvernance sanitaire. Elle constitue un levier stratégique pour la conception de politiques de santé adaptées aux réalités des pays à ressources limitées, favorisant une gestion intégrée, durable et équitable des risques zoonotiques à l'échelle locale et globale.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [PLUi] : (2019). Plan local d'urbanisme intercommunal de l'Eurométropole de Strasbourg <https://www.strasbourg.eu/plan-local-urbanisme-eurometropole-strasbourg>
- Adene, D. F., & Oguntade, A. E. (2006). The structure and importance of the commercial and village-based poultry industry in Nigeria. FAO.
- Alberti, M. (2015). *Eco-evolutionary dynamics in an urbanizing planet*. Trends in Ecology & Evolution, 30(2), 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.11.007>
- Alders, R. G., & Pym, R. A. E. (2009). Village poultry: Still important to millions, eight thousand years after domestication. World's Poultry Science Journal, 65(2), 181–190. <https://doi.org/10.1017/S0043933909000117>
- Alexander, D. J., Aldous, E. W., & Fuller, C. M. (2012). The long view: A selective review of 40 years of Newcastle disease research. Avian Pathology, 41(4), 329–335. <https://doi.org/10.1080/03079457.2012.697991>
- Allen, T., Murray, K. A., Zambrana-Torrel, C., Morse, S. S., Rondinini, C., Di Marco, M., ... Daszak, P. (2017). Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases. Nature Communications, 8(1), 1124. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00923-8>
- Altizer, S., Ostfeld, R. S., Johnson, P. T. J., Kutz, S., & Harvell, C. D. (2013). Climate change and infectious diseases: From evidence to a predictive framework. Science, 341(6145), 514–519. <https://doi.org/10.1126/science.1239401>
- Alvar, J., Vélez, I. D., ... (2012). Leishmaniasis worldwide and global estimates of its incidence. PLoS ONE, 7(5), e35671.
- Ana da C. & Maria da L. M (2023). Is Lisbon full of rats? There are “up to four rats” per person in Lisbon: the urban fight for pest control. <https://amensagem.pt/2023/07/21/rats-inhabitant-lisbon-plague-fight-rodents-lisbon/>
- Anderson, T.C., Nguyen, T.-A., Adams, J.K., Nancy M. Garrett, N.M., Bopp, C.A., Baker, J.B., Aplin, K. P., Brown, P. R., Jacob, J., Krebs, C. J., & Singleton, G. R. (2003). Field methods for rodent studies in Asia and the Indo-Pacific. Australian Centre for International Agricultural Research.
- Aronson, M. F. J., La Sorte, F. A., Nilon, C. H., Katti, M., Goddard, M. A., Lepczyk, C. A., ... & Winter, M. (2014). A global analysis of the impacts of urbanization on bird and plant diversity reveals key anthropogenic drivers. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 281(1780), 20133330. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.3330>
- Assogba, D., Mensah, G. A., & Chrysostome, C. A. A. M. (2022). Typologie et performances des exploitations avicoles au Bénin : diversité et dynamiques. Revue Africaine de Recherche en Aviculture, 15(2), 45–62.

- Ayral, F. (2015). Les rats et les zoonoses : interactions entre écologie, épidémiologie et santé publique [Thèse de doctorat, Université de Lyon]. HAL Archives. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01234567>
- Bagnol, B., Alders, R. G., & McConchie, R. (2013). Domestic poultry and human health: Contribution of village poultry keeping to household food security and nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 69(2), 249–258. <https://doi.org/10.1017/S0043933913000256>
- Banks, P. B., & Hughes, N. K. (2012). A review of the evidence for potential impacts of black rats (*Rattus rattus*) on wildlife and humans in Australia. *Wildlife Research*, 39(1), 78–88. <https://doi.org/10.1071/WR11086>
- Bateman, P. W., & Fleming, P. A. (2012). Big city life: Carnivores in urban environments. *Journal of Zoology*, 287(1), 1–23. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2011.00887.x>
- Beaucournu, J. C., Launay, H., & Sountsov, V. (2014). Puces (Siphonaptera) de France et d'Europe occidentale. *Faune de France*, 94. Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles.
- Behraves, C. B., Brinson, D., Hopkins, B. A., & Gomez, T. M. (2014). Backyard poultry flocks and *Salmonella* infections in humans: A continuing public health challenge. *Epidemiology*
- Bessell, P. R., Woolhouse, M. E., & Orton, R. J. (2017). Transmission of avian influenza among domestic poultry in sub-Saharan Africa: Review and synthesis. *Transboundary and Emerging Diseases*, 64(6), 1739–1754. <https://doi.org/10.1111/tbed.12569>
- Binkienė, R., Ilgūnas, M., Chagas, C. R. F., & Valkiūnas, G. (2021). Molecular and morphological characterization of three new species of avian Onchocercidae (Nematoda) with emphasis on circulating microfilariae. *Parasites & Vectors*, 14, 137. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04614-8>. [BioMed Central+1](https://doi.org/10.1186/s13071-021-04614-8)
- Blaak, H., de Kruijf, P., Hamidjaja, R. A., van Hoek, A. H. A. M., de Roda Husman, A. M., & Schets, F. M. (2015). Prevalence and characteristics of extended-spectrum beta-lactamase- and AmpC-producing Enterobacteriaceae in recreational waters and urban surface waters. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 45(6), 635–642. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2015.01.011>
- Blasdell R. K., Morand S, Laurance W. G.S., Doggett L. S., Hahs A., Trinh K., David Perera D., Firth C. (2022). Rats and the city: Implications of urbanization on zoonotic disease risk in Southeast Asia *PNAS* 2022 Vol.119 No.39 e2112341119, <https://doi.org/10.1073/pnas.2112341119> 11 of 1
- Bonnefoy X., Kampen H., Sweeney K. (2008). Public health significance of urban pests. World Health Organization, Copenhagen

- Bronson, F. H., & Perrigo, G. (1987). Seasonal regulation of reproduction in muroid rodents. *American Zoologist*, 27(4), 929–940.
- Brunet, R. (2020). *Les territoires français : géographie, aménagement et environnement*. Paris : La Documentation française.
- Buffet, J. P., Kosoy, M., & Vayssier-Taussat, M. (2006). Natural history of Bartonella-infecting rodents in urban areas: A review and new data from Marseille, France. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 6(3), 253–264. <https://doi.org/10.1089/vbz.2006.6.253>
- Capua, I., & Alexander, D. J. (2009). *Avian influenza and Newcastle disease: A field and laboratory manual*. Springer.
- Cavia R., Ruben Cueto G., Suárez O.V. (2009). Changes in rodent communities according to the landscape structure in an urban ecosystem. *Landsc Urban Plan* 90:11–19
- Chidiebere, I., Chukwudi, I., & Ogbonna, J. (2021). Occurrence of Staphylococcus aureus and Pasteurella multocida in domestic poultry in Nigeria. *Veterinary World*, 14(6), 1523–1530. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.1523-1530>
- Collinge, S. K., & Ray, C. (2006). *Disease ecology: Community structure and pathogen dynamics*. Oxford University Press.
- Combs M., Puckett E.E., Richardson J., Mims D., Munshi-South J. (2018). Spatial population genomics of the brown rat (*Rattus norvegicus*) in New York City. *Mol Ecol* 27:83–98. <https://doi.org/10.1111/mec.14437>
- Conan, A., Goutard, F. L., Sorn, S., & Vong, S. (2012). Biosecurity measures for backyard poultry in developing countries: A systematic review. *BMC Veterinary Research*, 8(240), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-8-240>
- Costa, F., Hagan, J. E., Calcagno, J., Kane, M., Torgerson, P., Martinez-Silveira, M. S., Stein, C., Abela-Ridder, B., & Ko, A. I. (2015). Global morbidity and mortality of leptospirosis: A systematic review. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 9(9), e0003898. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003898>
- Costa, F., Ribeiro, G.S, Felzemburgh, R.D.M., Santos, N., Reis, R.B., et al. (2014) Influence of Household Rat Infestation on Leptospira Transmission in the Urban Slum Environment. *PLoS Negl Trop Dis* 8(12): e3338.
- Cummings, C. A., McKee, C. D., Satterwhite, C. L., & Rabinowitz, P. M. (2021). Urban rats and the human social environment: Interdisciplinary approaches to rodent-borne disease risk. *One Health*, 12, 100252. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2021.100252>

- Daszak, P., Cunningham, A. A., & Hyatt, A. D. (2001). *Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife*. *Acta Tropica*, 78(2), 103–116. [https://doi.org/10.1016/S0001-706X\(00\)00179-0](https://doi.org/10.1016/S0001-706X(00)00179-0)
- Davis, D. E. (1953). The characteristics of rat populations. *Quarterly Review of Biology*, 28(4), 373–401.
- Davis, D. E., Emlen, J. T., & Stokes, A. W. (2005). Studies on home range in the brown rat. *Journal of Mammalogy*, 32(3), 388–398.
- De Masi E., Pino F.A., Santos M.D.S., Genehr L., Albuquerque J.O.M., Bancher A.M., Alves J.C.M. (2010). Socioeconomic and environmental risk factors for urban rodent infestation in Sao Paulo, Brazil. *J Pest Sci* 83 :228–238
- Delabougliuse, A., Dao, H. T. T., Truong, B. D., Nguyen, T. T. H., Nguyen, N. T. T., Nghiem, V. P., Pham, T. T. H., Nguyen, T. T., & Peyre, M. (2016). When private actors act for the common good: Realities and constraints of the participatory approach to the control of avian influenza in Vietnam. *Preventive Veterinary Medicine*, 128, 7–20. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.04.013>
- Denys C. (2022). Origine et évolution du rat noir et du rat brun en Europe : une histoire de coévolution ? Isabelle Sidera. *Evolutions : Evoluons-nous ? Presses Universitaires de Paris*, 978-2-84016-512-5. Hal-03986828
- Destoumieux-Garzón, D., Mavingui, P., Boetsch, G., Boissier, J., Darriet, F., Duboz, P., ...& Voituron, Y. (2018). The One Health concept: 10 years old and a long road ahead. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00014>
- Desvars-Larrive A., Baldi M., Walter T., Zink R., Walzer C. (2018). Brown rats (*Rattus norvegicus*) in urban ecosystems: are the constraints related to fieldwork a limit to their study? *Urban Ecosyst* (2018) 21:951–964
- Desvars-Larrive A., Pascal M., Gasqui P., Cosson J-F., Benoît E., Lattard V., et al. (2017). Population genetics, community of parasites, and resistance to rodenticides in an urban brown rat (*Rattus norvegicus*) population. *PLoS ONE* 12(9): e0184015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184015>
- Dubey, J. P. (2022). *Toxoplasmosis of animals and humans* (3rd ed.). CRC Press.
- Durden, L. A., & Musser, G. G. (1994). The sucking lice (Insecta, Anoplura) of the world: A taxonomic checklist with records of mammalian hosts and geographical distributions. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 218, 1–90.
- European Food Safety Authority (EFSA). (2023). The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, 21(12), e08183. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8183>

- Faye, B., Ndiaye, M., & Diop, M. (2020). Les systèmes avicoles villageois en Afrique de l'Ouest : diversité, contraintes et potentialités. *Cahiers Agricultures*, 29(6), 1–11. <https://doi.org/10.1051/cagri/2020023>
- Feng, A. Y. T., & Himsworth, C. G. (2014). The secret life of city rats: A review of the ecology of urban Norway and black rats (*Rattus norvegicus* and *Rattus rattus*). *Urban Ecosystems*, 17(1), 149–162. <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0305-4>
- Firth, C., Bhat, M., Firth, M. A., Williams, S. H., Frye, M. J., Simmonds, P., Conte, J. M., Ng, J., Garcia, J., Bhuva, N. P., Lee, B., Che, X., Quan, P.-L., Lipkin, W. I. (2014). Detection of zoonotic pathogens and characterization of novel viruses carried by commensal *Rattus norvegicus* in New York City. *mBio*, 5(5), e01933–14. <https://doi.org/10.1128/mBio.01933-14>
- Foglia L. (2020). Territoire de l'Eurométropole de Strasbourg. Étude de cas / eurometropole de strasbourg. [https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/05/2020-05-25\\_Etude-de-cas-Strasbourg-WEB.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2020/05/2020-05-25_Etude-de-cas-Strasbourg-WEB.pdf)
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), World Organisation for Animal Health (OIE), & World Health Organization (WHO). (2021). Taking a multisectoral, One Health approach: A tripartite guide to addressing zoonotic diseases in countries. FAO, OIE, WHO. <https://www.fao.org/3/ca2942en/ca2942en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), World Organisation for Animal Health (WOAH/OMSA), World Health Organization (WHO), & United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). One Health Joint Plan of Action (2022–2026). <https://www.who.int/publications/i/item/9789240059130>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2019). Family poultry development issues, opportunities and constraints. FAO Animal Production and Health Paper No. 202. Rome: FAO.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). Risk-based prevention and control of avian influenza in poultry. FAO Animal Production and Health Manual No. 24. <https://www.fao.org/3/ca8802en/ca8802en.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). FAO Animal Health Year in Review 2022: One Health and zoonoses. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc6107en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO & IIASA.

- Gage, K. L., Kosoy, M. Y., & Bai, Y. (2020). The role of rodents in emerging infectious diseases: Ecology, evolution, and public health implications. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 20(1), 1–10. <https://doi.org/10.1089/vbz.2019.2504>
- Gaidet, N. (2016). Ecology of avian influenza virus in wild birds in tropical Africa. *Avian Diseases*, 60(1s), 296–301.
- Gardner-Santana, L. C., Norris, D. E., Fornadel, C. M., Hinson, E. R., Klein, S. L., & Glass, G. E. (2009). Commensal ecology, urban landscapes, and their influence on the genetic structure of Norway rat populations. *Molecular Ecology*, 18(13), 2766–2778. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04232.x>
- Glass, G. E., Gardner-Santana, L. C., Holt, R. D., Chen, J., Shields, T. M., Roy, M., ... & Klein, S. L. (1988). Trophic interactions and the impact of precipitation on the dynamics of urban rat populations. *Urban Ecosystems*, 11(2), 135–152.
- Glatron S., Habold C., Philippot V. (2023) Des rats à Strasbourg : les citoyens face à la lutte intégrée. hal-04385879
- Gorom, R., Nwosu, C., & Ekong, P. (2018). Socio-economic drivers of traditional poultry farming practices in Nigeria. *Journal of Rural Studies*, 61, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.05.001>
- Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2008). Global change and the ecology of cities. *Science*, 319(5864), 756–760. <https://doi.org/10.1126/science.1150195>
- Gross B., Bonnet D.H. (1949). Snap versus cage traps in plague surveillance. *Public Health Reports*, 1949, 64:1214-1216
- Gueye, E.F. (2000) Women and family poultry production in rural Africa, *Development in Practice*, 10:1, 98-102, <http://dx.doi.org/10.1080/09614520052565>
- Han, B. A., Schmidt, J. P., Bowden, S. E., & Drake, J. M. (2015). Rodent reservoirs of future zoonotic diseases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(22), 7039–7044. <https://doi.org/10.1073/pnas.1501598112>
- Heyman, P., Ceianu, C. S., Christova, I., Tordo, N., Beersma, M., João Alves, M., Lundkvist, Å., Hukic, M., Papa, A., Tenorio, A., Zöller, L., & Klempa, B. (2019). Hantavirus infections in Europe: From virus circulation in rodents to human cases. *Epidemiology and Infection*, 147, e47. <https://doi.org/10.1017/S095026881800359X>
- Himsworth, C. G., Parsons, K. L., Jardine, C., & Patrick, D. M. (2014). The characteristics of wild rat (*Rattus* spp.) populations from an inner-city neighborhood with an overview of factors

- associated with rat-associated zoonoses. PLoS ONE, 9(3), e91654. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091654>
- Himsworth, C. G., Parsons, K. L., Jardine, C., & Patrick, D. M. (2013). Rats, cities, people, and pathogens: A systematic review and narrative synthesis of literature regarding the ecology of rat-associated zoonoses in urban centers. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 13(6), 349–359. <https://doi.org/10.1089/vbz.2012.1195>
- <https://data.strasbourg.eu/explore/dataset/catalogue-de-donnees-demographiques-et-socio-economiques-sur-les-quartiers-de-st/information/>
- <https://www.lesderatiseurs.fr/nuisible/rat-rongeur/>
- <https://www.letelegramme.fr/finistere/taule-29670/chiens-en-divagation-et-rappel-du-reglement-sanitaire-3681128.php>
- Ibrahim Danzabarma A., Hima K., Garba M., Issaka S., Dobigny G. (2025) Native-to-invasive rodent species turn-over within African cities: The example of Niamey, Niger. PLoS One 20(7): e0325427. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0325427>
- Institut de Conseil et d'Appui Technique (ICAT). (2010). Rapport sur la production avicole et les enjeux sanitaires au Togo. Lomé: ICAT.
- Institut national de la statistique et des études économiques (INSEE). (2023). Estimations de population – Bilan démographique 2023. Paris : INSEE.
- Institut national de la statistique, des études économiques et démographiques (INSEED). (2022). Recensement général de la population et de l'habitat 2022. Lomé : INSEED.
- Jessica, L. A., Galan, M., Razzauti, M., Sironen T., Voutilainen L., Henttonen H., Gasqui, P., Cosson, J.F., Charbonnel, N. (2024). Pathogen community composition and co-infection patterns in a wild community of rodents, *Peer Community Journal*, 4: e14 <https://doi.org/10.24072/pcjournal.370>
- Johansen, M. D., Herrmann, J.-L., & Kremer, L. (2020). Non-tuberculous mycobacteria and the rise of *Mycobacterium avium* complex: Relevance for veterinary and human health. *Microorganisms*, 8(10), 1668. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101668>
- Johnson M.A.S., Smith H., Joseph P., Gilman R.H., Bautista C.T, et al. (2004). Environmental exposure and leptospirosis, Peru. *Emerg Infect Dis* 10:1016-1022.
- Johnson, P. T. J., Ostfeld, R. S., & Keesing, F. (2015). Frontiers in research on biodiversity and disease. *Ecology Letters*, 18(10), 1119–1133. <https://doi.org/10.1111/ele.12479>
- Johnson, P. T. J., Rohr, J. R., Hoverman, J. T., Kellermanns, E., Bowerman, J., & Lunde, K. B. (2020). Landscape epidemiology of pathogens in wildlife: Insights and challenges. *Ecology Letters*, 23(9), 1449–1461. <https://doi.org/10.1111/ele.13527>

- Jones, K. E., Patel, N. G., Levy, M. A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J. L., & Daszak, P. (2008). *Global trends in emerging infectious diseases*. *Nature*, 451(7181), 990–993. <https://doi.org/10.1038/nature06536>
- Kauffman, C. A. (2020). Histoplasmosis: A clinical and laboratory update. *Clinical Microbiology Reviews*, 33(1), e00053-19. <https://doi.org/10.1128/CMR.00053-19>
- Keesing, F., Holt, R. D., & Ostfeld, R. S. (2010). Effects of species diversity on disease risk. *Ecology Letters*, 13(11), 1390–1400. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01538.x>
- Kleven, S. H. (2008). Control of avian mycoplasma infections in commercial poultry. *Avian Diseases*, 52(3), 367–374. <https://doi.org/10.1637/8323-041808-Review.1>
- Knittler, M. R., & Sachse, K. (2015). Chlamydia psittaci: Update on an underestimated zoonotic agent. *Pathogens and Disease*, 73(1), 1–15. <https://doi.org/10.1093/femspd/ftu016>
- Kokou, K., Kokutse, A. D., & Kokou, L. (2019). Dynamics of forest and savanna vegetation under anthropogenic pressure in Togo (West Africa). *African Journal of Ecology*, 57(4), 451-463. <https://doi.org/10.1111/aje.12633>
- Kosoy, M., Khlyap, L., Cosson, J. F., & Morand, S. (2015). *Aboriginal rats of genus Rattus as hosts of infectious agents*. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 15(1), 3–12. <https://doi.org/10.1089/vbz.2014.1624>
- Koul O., Cuperus G.W. (2007). *Ecologically-based integrated pest management*. CABI publishing, Wallingford
- Krasnov, B. R., Khokhlova, I. S., & Shenbrot, G. I. (2003). Impact of climate on the survival of fleas parasitic on rodents. *Functional Ecology*, 17(4), 496–504.
- Langton S.D., Cowan D.P., Meyer A.N. (2001). The occurrence of commensal rodents in dwellings as revealed by the 1996 English House Condition Survey. *J Appl Ecol* 38:699–709
- Latgé, J.-P., & Chamilos, G. (2020). *Aspergillus fumigatus* and aspergillosis in 2019. *Clinical Microbiology Reviews*, 33(1), e00140-18. <https://doi.org/10.1128/CMR.00140-18>
- Laure S. (2021). Les rats de Lyon : « Ils ne semblent plus craindre l’humain ». <https://www.rue89lyon.fr/2021/09/19/les-rats-de-lyon-ils-ne-semblent-plus-craindre-lhomme/>
- Lerner, H., & Berg, C. (2017). A comparison of three holistic approaches to health: One Health, EcoHealth, and Planetary Health. *Frontiers in Veterinary Science*, 4, 163. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00163>
- Lowry, H., Lill, A., & Wong, B. B. M. (2013). Behavioural responses of wildlife to urban environments. *Biological Reviews*, 88(3), 537–549. <https://doi.org/10.1111/brv.12012>
- Luis, A. D., Hayman, D. T. S., O’Shea, T. J., Cryan, P. M., Gilbert, A. T., Pulliam, J. R. C., Mills, J. N., Timonin, M. E., Willis, C. K. R., Cunningham, A. A., Fooks, A. R., Rupprecht, C. E.,

- Makuya L, Pillay N, Sangweni SP, Schradin C. (2024) Tolerant mothers: aggression does not explain solitary living in the bush Karoo rat. *Proc. R. Soc. B* 291:20241534. <https://doi.org/10.1098/rspb.2024.1534>
- McGuire, B., Getz, L. L., Hofmann, J. E., Pizzuto, T., & Frase, B. A. (2013). Social organization of the Norway rat (*Rattus norvegicus*). *Journal of Mammalogy*, 94(3), 563–572.
- McNeil, C., Torres, P., Etestad, P.J., Erdman, M.M., Denise L. Brinson, D.L., Gomez, T.M., Behravesh, C.B., (2016). Multistate outbreak of human *Salmonella* Typhimurium infections linked to live poultry from agricultural feed stores and mail-order hatcheries, United States 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.onehlt.2016.08.002>
- Meerburg, B. G., Singleton, G. R., & Kijlstra, A. (2009). Rodent-borne diseases and their risks for public health. *Critical Reviews in Microbiology*, 35(3), 221–270. <https://doi.org/10.1080/10408410902989837>
- Météo-France. (2021). *Le climat de la France : typologie et évolutions récentes*. Toulouse : Météo-France.
- Mghiry, I. E., Benabid, M., & El Kharrim, K. (2024). Bacterial infections in backyard poultry: Emerging challenges for small-scale farming systems. *African Journal of Veterinary Science and Research*, 12(2), 45–57.
- Mills, J. N., Gage, K. L., & Khan, A. S. (2010). *Potential influence of climate change on vector-borne and zoonotic diseases: A review and proposed research plan*. *Environmental Health Perspectives*, 118(11), 1507–1514. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901389>
- Ministère de l’Agriculture, de l’Élevage et de la Pêche (MAEP). (2021). *Rapport national sur la sécurité alimentaire et la filière avicole au Togo 2021*. Lomé: MAEP.
- Mohd-Qawiem F, Nur-Fazila SH, Ain-Fatin R, Yong QH, Nur-Mahiza MI, Yasmin AR (2022) Detection of zoonotic-borne parasites in *Rattus* spp. in Klang Valley, Malaysia, *Veterinary World*, 15(4): 1006-1014 ; [www.doi.org/10.14202/vetworld.2022.1006-1014](http://www.doi.org/10.14202/vetworld.2022.1006-1014)
- Monadjem, A., Taylor, P. J., Denys, C., & Cotterill, F. P. D. (2015). *Rodents of Sub-Saharan Africa: A biogeographic and taxonomic synthesis*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110301916>
- Morand, S. (2015). *Parasite diversity and the evolution of ecosystems*. Oxford University Press.
- Murray, M. H., Becker, D. J., Hall, R. J., & Hernandez, S. M. (2015). Wildlife health and supplemental feeding: a review and management recommendations. *Biological Conservation*, 204, 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.034>
- Myers, S. S., & Frumkin, H. (2020). *Planetary Health: Protecting Nature to Protect Ourselves*. Island Press.

- Nyaga, P. (2007). Poultry sector country review: Ghana. Rome: FAO. <http://www.fao.org/3/a-a1520e.pdf>
- Office Mondial de la Santé Animale (OMSA). (2020). Les zoonoses et les maladies émergentes. <https://www.woah.org/fr/ce-que-nous-faisons/sante-publique/zoonoses>
- Ogbu, O., Ajuluchukwu, E., & Uneke, C. J. (2019). Lassa fever in West Africa: Epidemiology, clinical features, and social determinants. *BMJ Global Health*, 4(3), e001009.
- OIE. (2019). World Animal Health Information Database (WAHIS). World Organisation for Animal Health.
- Ostfeld, R. S., & Keesing, F. (2012). Effects of host diversity on infectious disease. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43, 157–182. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145022>
- Panti-May JA, Carvalho-Pereira TSA, Serrano S, Pedra GG, Taylor J, Pertile AC, et al. (2016) A Two-Year Ecological Study of Norway Rats (*Rattus norvegicus*) in a Brazilian Urban Slum. *PLoS ONE* 11(3): e0152511. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152511>
- Parsons, M. H., Banks, P. B., Deutsch, M. A., Corrigan, R. F., & Munshi-South, J. (2020). *Trends in urban rat ecology: A framework to define the prevailing knowledge gaps and future research priorities*. *BioScience*, 70(10), 823–833. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa099>
- Parsons, M. H., Banks, P. B., Deutsch, M. A., Corrigan, R. F., & Munshi-South, J. (2017). Temporal and space-use changes by rats in response to urbanization. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 5, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00052>
- Parsons, M. H., Sarno, R. J., Deutsch, M. A., Kinziger, A. P., & Blumstein, D. T. (2018). Urbanization and the evolution of boldness in wildlife. *Ecology and Evolution*, 8(23), 11423–11434. <https://doi.org/10.1002/ece3.4551>
- Patz, J. A., Daszak, P., Tabor, G. M., Aguirre, A. A., Pearl, M., Epstein, J., Wolfe, N. D., Kilpatrick, A. M., Fofopoulos, J., Molyneux, D., & Bradley, D. J. (2004). *Unhealthy landscapes: Policy recommendations on land use change and infectious disease emergence*. *Environmental Health Perspectives*, 112(10), 1092–1098. <https://doi.org/10.1289/ehp.6877>
- Paull, S. H., Song, S., McClure, K. M., Sackett, L. C., Kilpatrick, A. M., & Johnson, P. T. J. (2012). From superspreaders to disease hotspots: Linking transmission across hosts and space. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(2), 75–82. <https://doi.org/10.1890/110137>
- Pedersen, A. B., & Fenton, A. (2007). Emphasizing the ecology in parasite community ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(3), 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.11.004>
- Philippot V., Glatron S., Habold C. (2023). Le rat, emblème du délaissement ressenti par les quartiers populaires de Strasbourg (FRANCE) <https://hal.science/hal-04219123/document>

- Picardeau, M. (2020). Leptospirosis in humans. *Current Topics in Microbiology and Immunology*, 387, 1–20. [https://doi.org/10.1007/82\\_2020\\_201](https://doi.org/10.1007/82_2020_201)
- Pinto, J. (2015). Écologie des communautés et émergence des maladies infectieuses. *Revue d'Écologie (La Terre et la Vie)*, 70(4), 451–464
- Plowright, R. K., Reaser, J. K., Locke, H., et al. (2021). Land use-induced spillover: A call to action to safeguard environmental, animal, and human health. *The Lancet Planetary Health*, 5(4), e237–e245. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00031-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00031-0)
- Poncet, C., Rault, A., & Traoré, H. (2022). Household poultry production and health management in West Africa: Diversity of practices and implications for One Health. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 823544. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.823544>
- Pousga, S., Ouedraogo, A., & Boly, H. (2020). Dynamiques régionales de l'aviculture traditionnelle en Afrique de l'Ouest : contraintes et innovations locales. *Tropicultura*, 38(3), 243–254.
- Prugnolle, F., Choisy, M., Cornet, S., Durand, P., Léger, N., & Gandon, S. (2005). Sex-specific epidemiological traits in parasites. *Oikos*, 111(2), 241–250. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13876.x>
- Puckett, E. E., Park, J., Combs, M., Blum, M. J., Bryant, J. E., Caccone, A., & Munshi-South, J. (2016). Global population divergence and admixture of the brown rat (*Rattus norvegicus*). *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 283(1841). <https://doi.org/10.1098/rspb.2016.1762>
- R Core Team. (2025) Rvs 4.4.2: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. See [https:// www.R-project.org/](https://www.R-project.org/).
- R Core Team. (2025). R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Ramatla, T., Mphahlele, K., & Madoroba, E. (2023). Evidence of *Coxiella burnetii* in chickens and rats in South Africa: A potential interspecies transmission. *Zoonoses and Public Health*, 70(2), 245–253. <https://doi.org/10.1111/zph.13009>
- Rault, A., Traoré, H., & Poncet, C. (2020). Aviculture et gestion sanitaire en Côte d'Ivoire : diversité des pratiques et perception des risques. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 73(2), 71–80. <https://doi.org/10.19182/remvt.31995>
- Réveillaud, E., Hars, J., Boschioli, M.-L., Fouchet, D., Richomme, C., Faure, E., Fediaevsky, A., & Payne, A. (2018). Tuberculosis in wildlife in France: A 10-year review of surveillance and control. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, 262. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00262>
- Réveillaud, É., Lemoine, M., Vayssier-Taussat, M., & Marié, J.-L. (2018). Rats as sentinels for urban zoonoses: Surveillance perspectives in France. *Infectious Diseases of Poverty*, 7(1), 52. <https://doi.org/10.1186/s40249-018-0443-1>

- Ringani, G.V., Julius, R.S., Chimimba, C.T., Pirk, C.W.W., and Zengeya, T.A. (2022). Predicting the potential distribution of a previously undetected cryptic invasive synanthropic Asian house rat (*Rattus tanezumi*) in South Africa. *J. Urban Econ.* 8:19.
- RStudio Team. (2025). RStudio: Integrated Development Environment for R.
- Rüegg, S. R., McMahon, B. J., Häslar, B., Esposito, R., Nielsen, L. R., Ifejika Speranza, C., Ehlinger, T., Peyre, M., Aragrande, M., Zinsstag, J., & Davies, P. (2018). A blueprint to evaluate One Health. *Frontiers in Public Health*, 6, 24. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00024>
- Ryan, U., Hijjawi, N., & Feng, Y. (2021). Biology and epidemiology of *Cryptosporidium* in humans and animals. *Clinical Microbiology Reviews*, 34(1), e00087-19. <https://doi.org/10.1128/CMR.00087-19>
- Salines, M., Andraud, M., Rose, N., & Madec, F. (2017). The use of surveillance networks in animal health: Lessons learned from France. *Epidemiology and Infection*, 145(12), 2430–2441. <https://doi.org/10.1017/S0950268817001225>
- Samir, A., Soliman, R., El-Hariri, M., Abdel-Moein, K., Hatem, M.E. (2015). Leptospirosis in animals and human contacts in Egypt: broad range surveillance. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 48(3):272-277, May-Jun, 2015 <http://dx.doi.org/10.1590/0037-8682-0102-2015>
- Santé Publique France. (2022). Surveillance épidémiologique des zoonoses en France. <https://www.santepubliquefrance.fr>
- Scobie K., Rahelinirina S., Soarimalala V., Andriamiarimanana F.M., Rahaingosoamamitiana C., Randriamoria T., Rahajandraibe S., Lambin X., Rajerison M., Telfer S. (2024). Reproductive ecology of the black rat (*Rattus rattus*) in Madagascar: the influence of density-dependent and-independent effects. *Integrative Zoology* 2024; 19:66–86
- Senne, D. A., Suarez, D. L., & Pedersen, J. C. (2006). Avian influenza in North and South America, 2002–2005. *Avian Diseases*, 50(2), 187–194. <https://doi.org/10.1637/7474-042806R.1>
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Simms, C., & Jeggo, M. (2014). *One Health: The theory and practice of integrated health approaches*. CABI Publishing.
- Souvestre, M. (2022). *Guide méthodologique d'enquête sur les pratiques d'élevage avicole villageois*. CIRAD–INRAE, Montpellier.
- Sridhar, S., Yip, C. C. Y., Wu, S., Cai, J., Zhang, A. J., Leung, K.-H., Chung, T. W. H., Chan, J. F. W., Chan, W.-M., Teng, J. L. L., Au-Yeung, R. K. H., Cheng, V. C. C., Chen, H., Lau, S. K.

- P., Woo, P. C. Y., & Yuen, K.-Y. (2018). Rat hepatitis E virus as cause of persistent hepatitis after liver transplant. *Emerging Infectious Diseases*, 24(12), 2241–2250. <https://doi.org/10.3201/eid2412.180937>
- Stenseth, N. C., Leirs, H., Skonhøft, A., Davis, S. A., Pech, R. P., Andreassen, H. P., ... Singleton, G. R. (2003). Mice, rats, and people: The bio-economics of agricultural rodent pests. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1(7), 367–375. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0367:MRAPT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0367:MRAPT]2.0.CO;2)
- Streicker, D. G., Turmelle, A. S., Vonhof, M. J., Kuzmin, I. V., McCracken, G. F., & Rupprecht, C. E. (2013). Host phylogeny constrains cross-species emergence and establishment of rabies virus in bats. *Science*, 329(5992), 676–679. <https://doi.org/10.1126/science.1188836>
- Svobodová, M., Votýpka, J., & Lantová, L. (2023). Advances in the microscopy and molecular identification of haemosporidian parasites. *Parasitology Research*, 122(4), 1023–1035. <https://doi.org/10.1007/s00436-023-07819-5>
- Tamayo-Uria I., Mateu J., Escobar F., Mughini-Gras L. (2014). Risk factors and spatial distribution of urban rat infestations. DOI 10.1007/s10340-013-0530-x
- Tamayo-Uria I., Mateu J., Mughini-Gras L. (2013). Temporal distribution and weather correlates of Norway rat (*Rattus norvegicus*) infestations in the city of Madrid, Spain. *Ecohealth* 10(2), 137–144.
- The Lancet One Health Commission. (2022). Operationalising One Health: A policy framework for action. *The Lancet*, 399(10332), 1239–1254. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)00453-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)00453-0)
- Thierry N. 2018. Les rats pullulent à Paris : 7 questions sur une invasion hors de contrôle. <https://www.nouvelobs.com/planete/20180312.OBS3455/les-rats-pullulent-a-paris-7-questions-sur-une-invasion-hors-de-contrôle.html>
- Togo First. (2019). L'aviculture au Togo : une filière en plein essor. Lomé. <https://togofirst.com/fr/agriculture/>
- Traweger D., Travnitzky R., Moser C., Walzer C., Bernatzky G. (2006). Habitat preferences and distribution of the brown rat (*Rattus norvegicus* Berk.) in the city of Salzburg (Austria): implications for an urban rat management. *J Pest Sci* 79:113–125
- United Nations. (2021). *World Population Prospects 2021*. New York: UN. <https://population.un.org/wpp/>
- USDA. (2013). *Poultry sector development in Sub-Saharan Africa*. Washington, DC: United States Department of Agriculture. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=43754>
- Valkiūnas, G., & Iezhova, T. A. (2018). Keys to the avian malaria parasites. *Malaria Journal*, 17, 212. <https://doi.org/10.1186/s12936-018-2359-5>

- Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Robinson, T. P., Teillant, A., & Laxminarayan, R. (2019). Global trends in antimicrobial resistance in animals in low- and middle-income countries. *Science*, 365(6459), eaaw1944. <https://doi.org/10.1126/science.aaw1944>
- Van Wettere, A. J., & Hauck, R. (2020). Diagnostic evaluation of avian blood smears: Common findings and their significance. *Veterinary Clinics of North America: Exotic Animal Practice*, 23(2), 235–251. <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2020.01.005>
- Ville et Eurométropole de Strasbourg. (2023). Atlas de la biodiversité de l’Eurométropole de Strasbourg. Strasbourg : Direction de l’Environnement et de la Nature.
- Wilkinson, D. A., Marshall, J. C., French, N. P., Hayman, D. T. S., & Pulliam, J. R. C. (2018). Fragmentation, biodiversity loss and the risk of novel infectious disease emergence. *Journal of the Royal Society Interface*, 15(149), 20180403. <https://doi.org/10.1098/rsif.2018.0403>
- Woolhouse, M., Ward, M., van Bunnik, B., & Farrar, J. (2015). Antimicrobial resistance in humans, livestock and the wider environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1670), 20140083. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0083>
- World Bank. (2021). Urban population growth (annual %) – Togo. Washington D.C.: World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.GROW>
- World Health Organization (WHO). (2022). World health statistics 2022: Monitoring health for the SDGs. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240051158>
- World Health Organization (WHO). (2023). Avian influenza A(H5) summary and assessment, Europe 2021–2023. World Health Organization.
- World Health Organization (WHO). (2024). Avian influenza A(H5N1) technical update for public health and animal health services. World Health Organization. [www.bas-rhin.gouv.fr](http://www.bas-rhin.gouv.fr).
- Young, H. S., Wood, C. L., Kilpatrick, A. M., Lafferty, K. D., Nunn, C. L., & Vincent, J. R. (2017). Consequences of host diversity for infectious disease risk in a changing environment. *Ecosphere*, 8(7), e01679. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1679>
- Yugo, D. M., & Meng, X. J. (2013). Hepatitis E virus: Foodborne, waterborne and zoonotic transmission. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(10), 4507–4533. <https://doi.org/10.3390/ijerph10104507>
- Zilber A., Belli P., Grezel D., Artois M., Kodjo A., Djelouadji Z. (2016). Comparison of mucosal, subcutaneous and intraperitoneal routes of rat *Leptospira* infection. *PLoS Negl Trop Dis* 3:e0004569

Zinsstag, J., Schelling, E., Waltner-Toews, D., & Tanner, M. (2015). One Health: The theory and practice of integrated health approaches. CABI Publishing.  
<https://doi.org/10.1079/9781780643410.0000>

## ANNEXES

Annexe 1: Principales zoonoses virales, bactériennes, parasitaires et fongiques décrites chez les rats

Tableau 1 : Principales zoonoses virales décrites chez les rats

Virus	Maladie humaine	Manifestations chez le rat	Hôtes réservoirs	Système écologique réservoir	Hôtes messagers	Hôtes incidents (modalités de contamination)	Références
<i>Hantavirus</i> (Seoul, Puumala)	Syndrome pulmonaire/fièvre hémorragique rénale	NR	<i>Rattus norvegicus</i> , <i>Rattus rattus</i>	Forêt tempérées feuillues et mixtes, milieux urbains, portuaires, péri urbains et agricoles	<i>Mus musculus</i> , <i>Microtus spp</i>	Humain Inhalation d'aérosols, d'urine, excréments	Easterbrook et al., 2007; Clement et al., 2019
<i>Hepatitis E Virus</i> (HEV-C1)	Hépatite E aigüe (cas chronique chez les immunodéprimés)	NR	<i>Rattus norvegicus</i> et le Lapin	Milieux urbains et ruraux défavorisés, Systèmes d'assainissement défectueux, Eaux contaminées par des déjections humaines	Pas connus	Humain Contact fécal-oral, ingestion d'aliments contaminés	Sridhar et al., 2018, Andonov et al., 2019
LCMV ( <i>Lymphocytic Choriomeningitis Virus</i> )	Méningite aseptique, infections congénitales	NR	<i>Rattus norvegicus</i> , <i>Mus musculus</i> , autres muridés	Divers habitats y compris milieux urbains, ruraux	Non décrit	Humain Urine, morsures, tissus	Bonthius, 2012 ; Barton et al., 2002
<i>Virus Cowpox</i>	Poxvirose	NR	<i>Rattus norvegicus</i> , <i>Rattus rattus</i>	Habitats des rongeurs, champs, prairies, zones urbaines	Chat, chien et multi-hôtes.	Humain Contact étroit avec rongeurs, surface ou objets contaminé	Chantrey et al., 1999; Vogel et al., 2012; Campe et al., 2009;
<i>Coronavirus murin</i> (SDAV)	Potentiel zoonotique non confirmé	NR	<i>Rattus norvegicus</i>	Enclos de laboratoire, animalerie, habitats des rats	Pas connus	Rongeurs Sécrétions respiratoires entre rongeurs	Barthold et al., 1987 Corman et al., 2018
Astrovirus, Kobuvirus, Circovirus	Potentiel zoonotique émergent	NR	<i>Rattus spp</i>	Ecosystèmes anthropisés	Multi-hôtes	Rongeurs Métagénomique contacts	Wu et al., 2018 Firth et al., 2014

Un **réservoir** selon Ashford (2003), est un système écologique chez lequel un agent infectieux survit indéfiniment

Un **hôte** selon Ashford (2003), est un être vivant qui héberge et entretient dans des conditions naturelles un agent pathogène

Un hôte réservoir est un être vivant qui héberge indéfiniment l'agent pathogène ou zoonotique (Ashford, 2003)

Un hôte incident est un être vivant qui est infecté à partir du réservoir, mais qui n'est pas nécessaire au maintien de la population d'agents pathogènes

Un hôte messenger « liaison host » est un être vivant (vecteur) qui transmet l'agent pathogène d'un réservoir à un hôte incident (Ashford, 2003)

Un système écologique réservoir est milieu/habitat/environnement dans lequel l'agent pathogène survit avec son hôte (Savey & Duffur 2004).

NR : non rapporté(es) ou non décrit(es).

Tableau 2 : Principales zoonoses bactériennes décrites chez les rats

Bactérie	Maladie humaine	Manifestation chez le rat	Hôtes réservoirs	Système écologique réservoir	Hôte messenger (vecteur)	Hôtes incidents	Modalités de contamination	Références
<i>Leptospira interrogans</i>	Leptospirose	Portage rénal asymptomatique	Rats ( <i>Rattus norvegicus</i> , <i>R. rattus</i> )	Milieus urbains humides, eaux stagnantes, égouts	Aucun	Humains, chiens, bétails	Contact avec urine contaminée, peau lésée ou muqueuses, eau	WHO, 2003; Levett, 2001
<i>Streptobacillus moniliformis</i>	Fièvre par morsure de rat	Portage asymptomatique oropharyngé	Rats	Habitats urbains, domiciles, laboratoires	Aucun	Humains	Morsure, griffure, salive, contact avec sécrétions	Elliott et al., 2007; CDC
<i>Yersinia pestis</i>	Peste bubonique/pulmonaire/septique	Mortalité aiguë ou subclinique	Rongeurs sauvages et rats	Zones rurales, steppes, villes infestées de puces	Puce ( <i>Xenopsylla cheopis</i> )	Humains, carnivores	Piqûre de puce infectée, contact avec animaux morts	Perry & Fetherston, 1997
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniose entérique	Portage intestinal asymptomatique (rare)	Porc, rongeurs, ruminants	Élevages, abattoirs, aliments réfrigérés	Aucun	Humains	Aliments contaminés (porc cru), eau souillée	Bottone, 1999
<i>Salmonella</i> spp.	Salmonellose	Portage asymptomatique intestinal	Rats, reptiles, volailles	Environnement urbain, déchets, élevages	Aucun	Humains, carnivores	Ingestion d'aliments ou eau contaminés	CDC; Chishti et al., 2020
<i>Escherichia coli</i> pathogènes	Diarrhée, SHU	Portage intestinal possible	Bovins (principal), rongeurs (occasionnels)	Élevages, milieux agricoles, déchets urbains	Aucun	Humains	Ingestion d'aliments/eau contaminés	Nataro & Kaper, 1998
<i>Bartonella</i> spp.	Bartonellose (ex. maladie des griffes du chat)	Portage sanguin souvent asymptomatique	Rats, autres rongeurs	Milieus urbains, abris de rongeurs, vecteurs (puces)	Puce, tique (vecteurs biologiques)	Humains, carnivores domestiques	Piqûres de puces, morsures, griffures, contact avec sang infecté	Chomel et al., 2009 ; Kosoy et al., 2010
<i>Coxiella burnetii</i>	Fièvre Q	Portage rarement décrit chez le rat	Ruminants (principal), rongeurs	Élevages, environnement rural ou urbain souillé	Aérosols (vecteurs passifs)	Humain	Inhalation de poussières contaminées, produits animaux	Maurin & Raoult, 1999

<i>Rickettsia</i> spp.	Rickettsioses (ex. typhus murin)	Portage asymptomatique	Rats	Zones urbaines et portuaires	Puce ( <i>Xenopsylla cheopis</i> )	Humain	Piqûre de puce infectée	Raoult & Roux, 1997
<i>Staphylococcus</i> spp. (Incl. <i>S. aureus</i> )	Infections cutanées, septicémies	Portage nasal et cutané possible	Humains, animaux domestiques et sauvages	Environnement hospitalier, urbain	Aucun	Humain	Contact direct, plaies, aérosols	Lowy, 1998
Campylobacter spp.	Campylobactériose entérique	Portage intestinal possible	Volailles (principal), rongeurs, Bovins	Élevages, zones contaminées	Aucun	Humain	Ingestion d'aliments ou d'eau contaminés	Blaser et al., 2008
<i>Clostridium difficile</i>	Colite pseudomembraneuse	Portage intestinal asymptomatique	Humain, animaux domestiques, rongeurs	Établissements de soins, sol contaminé	Aucun	Humain	Contact fécal-oral, environnement contaminé	Rupnik et al., 2009
<i>Mycobacterium bovis</i>	Tuberculose bovine	Très rare chez les rats	Bovins, faune sauvage, parfois rongeurs	Élevages, Environnement rural	Aucun	Humain	Inhalation, ingestion de lait cru	Michel et al., 2010
<i>Pasteurella multocida</i>	Pasteurellose (infection des plaies)	Présence possible dans la cavité buccale	Rats, chats, chiens	Domiciles, milieux urbains	Aucun	Humain	Morsures ou griffures	Weber et al., 1984
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	Yersiniose entérique, adénolymphite	Portage intestinal possible	Rongeurs, oiseaux, lagomorphes	Milieus naturels, fermes	Aucun	Humain	Ingestion d'aliments ou d'eau contaminés	Fredriksson-Ahomaa et al., 2006

Tableau 3 : Principales zoonoses parasitaires décrites chez les rats

Parasite	Maladie humaine	Manifestation chez le rat	Hôtes réservoirs	Système écologique réservoir	Hôte messenger (vecteur)	Hôtes incidents	Modalités de contamination	Références
<i>Angiostrongylus cantonensis</i>	Méningoencéphalite éosinophile	Asymptomatique ou signes neurologiques	Rats (hôtes définitifs)	Milieus tropicaux, urbains et périurbains	Escargots, limaces (hôtes intermédiaires)	Humain	Ingestion de mollusques crus ou contaminés	Wang et al., 2008
<i>Capilaria hepatica</i>	Capilariose	NR	<i>Rattus norvegicus</i> , <i>Mus musculus</i>	Milieus urbains, abris de rongeurs	Prédateurs et charognard des rongeurs	Humain	Nourriture et environnement contaminé	Kataranovski et al., 2011 ; R Ceruti, 2001)
<i>Cryptosporidium</i> spp	Entérite	NR	Multiples hôtes	Environnement aquatique et terrestre	Insectes coprophages, oiseaux et mollusques	Humain	Fécale-orales	(Kimura et al., 2007)
<i>Hymenolepis nana</i>	Hyménolépiase	Portage intestinal fréquent	Rats, humains	Zones urbaines, insalubres	Aucun (cycle direct possible)	Humain	Ingestion d'œufs via mains ou aliments souillés	Crompton, 1999
<i>Hymenolepis diminuta</i>	Hyménolépiase (rare)	Portage intestinal fréquent	Rats (hôte définitif)	Environnement urbain ou rural	Insectes (hôtes intermédiaires)	Humain	Ingestion d'insectes contaminés (accidentellement)	Crompton, 1999
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose	Portage tissulaire possible	Félinés (hôtes définitifs), rongeurs	Milieus urbains et ruraux	Aucun	Humain, herbivores	Ingestion d'oocystes dans l'eau, sol ou aliments	Tenter et al., 2000
<i>Trichinella</i> spp.	Trichinellose	Infestation musculaire possible (rare)	Rats, porcs, carnivores	Milieus ruraux, décharges	Aucun	Humain	Consommation de viande contaminée (porc, rat)	Pozio, 2007
<i>Trypanosoma lewisi</i>	Zoonose émergente (rare chez l'humain)	Hôte naturel, portage asymptomatique	Rats	Zones urbaines	Puce (ex: <i>Xenopsylla cheopis</i> )	Humain (rare)	Piqûres de puces infectées, exposition au sang	Doke & Kar, 1986 ; Kaur et al., 2010

NR: non rapporté(es) ou non décrit(es).

Tableau 4 : Principales zoonoses fongiques décrites chez les rats

Champignon	Maladie humaine	Manifestation chez le rat	Hôtes réservoirs	Système écologique réservoir	Hôte messenger (vecteur)	Hôtes incidents	Modalités de contamination	Références
<i>Microsporium</i> spp.	Teigne (dermatophytose)	Lésions cutanées, alopecie	Rats, chats, chiens	Milieux urbains, refuges, élevages	Aucun	Humain	Contact direct ou indirect (poils, litière contaminée)	Weitzman & Summerbell, 1995
<i>Trichophyton mentagrophytes</i>	Teigne (dermatophytose)	Lésions cutanées, portage asymptomatique	Rats, rongeurs, carnivores	Laboratoires, domiciles	Aucun	Humain	Contact avec animaux ou surfaces contaminées	Kraemer et al., 2012
<i>Candida albicans</i>	Candidose (buccale, cutanée, systémique)	Commensal intestinal, peut causer des infections opportunistes	Rats, humains	Flore normale, milieux hospitaliers	Aucun	Humain	Endogène (déséquilibre de la flore) ou contact indirect	Calderone, 2002
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Aspergillose	Infections respiratoires (chez animaux immunodéprimés)	Environnement (moisissures), animaux	Sol, végétaux en décomposition	Aucun	Humain, oiseaux	Inhalation de spores	Latgé, 1999
<i>Cryptococcus neoformans</i>	Cryptococcose (pulmonaire, méningée)	Rarement rapporté chez le rat	Pigeons, sol contaminé, parfois rongeurs	Excréments de pigeons, poussières urbaines	Aucun	Humain	Inhalation de spores	Casadevall & Perfect, 1998

Tableau 5 : Principales ZAR potentiellement transmises entre les rats et l'humain rapportées en France métropolitaine

Agents pathogènes	Maladie humaine	Manifestation chez le rat	Hôtes réservoirs	Systèmes écologiques réservoirs	Hôtes messagers	Hôtes incidents	Modalités de contamination	Références
<i>Leptospira interrogans</i>	Leptospirose (fièvre, atteintes hépatorénales)	Asymptomatique Portage rénal, excrétion urinaire	<i>R. norvegicus</i>	Égouts, zones humides urbaines	Eaux souillées, sols	Humains, chiens	Contact avec urine/eau contaminée	Bourhy et al. (2014), WHO (2003); Wieland et al., 2022
Seoul virus (Hantavirus)	Fièvre hémorragique, syndrome rénal (HFRS)	Asymptomatique Portage persistant, excrétion virale	<i>R. norvegicus</i>	Milieux urbains, ports	Aérosols d'excréments	Humains	Inhalation d'aérosols de déjections/ urine	Dupinay et al., 2014, Vapalahti et al., 2003
<i>Francisella tularensis</i> (rare)	Tularémie (ulcère, adénopathies, fièvre)	Portage, possible mortalité	Rats, campagnols	Zones humides, prairies et ruraux	Arthropodes (tiques)	Humains, lièvres	Piqûre de tique, contact direct avec animaux infectés	Maurin & Gyuranecz., 2016, INRS (2020)
<i>Yersinia</i> spp	Peste (forme bubonique ou pulmonaire)	Asymptomatique Faible mortalité	Rats, puces	Zones portuaires (résiduelle)	Puces infectées	Humains	Piqûre de puce, aérosols (forme pulmonaire)	WHO (2021), Bertherat, 2019
<i>Streptobacillus moniliformis</i>	Fièvre par morsure de rat (Haverhill fever)	Asymptomatique Portage oropharyngé	Rats domestiques et sauvages	Élevages, domiciles urbains	Morsure ou griffure	Humains	Morsure, égratignure, contact salivaire	Elliott et al. (2007), Gaastra et al. (2009); CDC, 2019
<i>Coxiella burnetii</i>	Fièvre Q	Asymptomatique Portage intestinal ou fécal (potentiel)	Rongeurs, tiques	Prairies, zones périurbaines	Aérosols, tiques	Humains	Inhalation d'aérosols, transmission vectorielle	Porter et al., 2011, Eldin et al., 2017
<i>Lymphocytic choriomeningitis virus</i> (LCMV)	Méningite aseptique, fièvre, infection congénitale	Portage chronique, excrétion virale	Rats, Souris ( <i>Mus musculus</i> )	Milieux urbains et domestiques	Aérosols d'urine	Humains	Inhalation, contact avec excrétions	Barton & Mets (2001), CDC (2023)
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose	Infection subclinique, influence sur le comportement	Rongeurs, félins	Urbain et rural	Sols, végétaux souillés, proie	Humains, mammifères divers	Ingestion d'oocystes ou viande mal cuite	Dubey, 2010

Tableau 6 : Principales ZAR potentiellement transmises entre les rats et l'humain rapportées dans la sous-région Ouest Africaine y compris le Togo

Agents pathogènes	Maladie humaine	Manifestation chez le rat	Hôtes réservoirs	Systèmes écologiques réservoirs	Hôtes messagers	Hôtes incidents	Modalités de contamination	Références
<i>Leptospira interrogans</i>	Leptospirose	Portage urinaire asymptomatique	Rats ( <i>Rattus</i> spp.)	Zones urbaines, égouts	Eaux souillées	Humains, chiens	Contact avec urine contaminée ou sols/eaux souillés	Bourhy et al. (2014), WHO (2003)
<i>Streptobacillus moniliformis</i>	Fièvre par morsure de rat	Portage buccal	Rats (domestiques et sauvages)	Domiciles urbains, élevages	Salive	Humains	Morsure, égratignure, contact muqueux	Elliott (2007)
<i>Lassa mammaronavirus</i>	Fièvre de Lassa	Portage asymptomatique	<i>Mastomys natalensis</i>	Zones rurales, habitations	Excrétas (urine, selles)	Humains	Inhalation de poussières contaminées, contact direct	CDC (2019)
<i>Hantavirus (Sangassou-like)</i>	Syndrome pulmonaire à hantavirus	Portage asymptomatique	Rats sylvatiques	Zones forestières et rurales	Aérosols de déjections	Humains	Inhalation de particules virales	Antoniou & Read (2005)
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose	Hôte intermédiaire, portage tissulaire	Rats, petits mammifères	Écosystèmes périurbains	Changements écologiques, chats	Humains	Ingestion d'aliments ou eau souillés	Krystufek & Macholán (2002)
<i>Yersinia spp</i>	Peste (forme bubonique ou pulmonaire)	Mortalité possible	Rats ( <i>Rattus</i> spp.), puces ( <i>Xenopsylla cheopis</i> )	Environnements portuaires, zones urbaines	Puces infectées	Humains	Piqûres de puces infectées, contact	WHO (2021)

Annexe 2: Principales zoonoses virales, bactériennes, parasitaires et fongiques décrites chez les Volailles (ZAV)

Tableau 7 :Principales zoonoses virales décrites chez les volailles

Virus	Maladie humaine	Manifestations chez la volaille	Hôtes réservoirs	Système écologique réservoir	Hôtes messagers	Hôtes incidents	Modalités de contamination	Références
Virus Influenza A (H5N1, H7N9, etc.)	Grippe, formes bénignes à sévères (pneumonie, fièvre élevée)	Mortalité élevée, troubles respiratoires	Canards, poulets	Elevages intensifs, Zones humides, marchés d'oiseaux vivants	Oiseaux migrants, volailles domestiques	Humains	Inhalation d'aérosols, contact avec les oiseaux infectés, abattage	WHO, 2022 ; Webster et al., 2006
Virus de la maladie de Newcastle (NCDV)	Conjonctivite, symptômes grippaux bénins	Respiration difficile, mortalité variable	Poulets, pigeons	Elevages, marchés	Ouvriers avicoles	Humains	Inhalation d'aérosols, contact avec tissus infectés	Alexander, 2000
Virus West Nile (WNV)	Fièvre méningo-encéphalite	Asymptomatique ou légère fièvre	Oiseaux sauvages, oies	Zones humides	Moustiques	Humains	Piqûres de moustiques	Petersen et al., 2013
Virus USUTU (USUV)	Encéphalite (cas rares)	NR	Oiseaux sauvages	Zones humides	Moustiques	Humains	Piqûres de moustiques	Pecorari et al., 2009
Reovirus aviaire	Suspensions de troubles digestifs/respiratoires	Boiterie, entérites	<i>Poulets</i>	Elevages	Poussières, contacts directs	Humains	Exposition professionnelle	Pantin-Jackwood et al., 2006

NR: non rapporté(es) ou non décrit(es).

Tableau 8 : Principales zoonoses bactériennes décrites chez les volailles

Bactérie	Maladie humaine	Manifestation chez la volaille	Hôtes réservoirs	Système écologique réservoir	Hôte messenger (vecteur)	Hôtes incidents	Modalités de contamination	Références
Salmonella enterica spp.	Salmonellose (fièvre, diarrhée)	Portage asymptomatique ou entérite	Poulets, dindes	Elevage, abattoirs	Produits avicoles	Humains	Ingestion d'aliments contaminés	Foley et al. 2011; EFSA, 2023
Campylobacter jejuni.	Campylobactériose (gastro-entérite aiguë)	Portage asymptomatique (surtout intestin)	Poulets, dindes	Élevages, Carcasses	Viande crue	Humain	Ingestion ou manipulation de viande crue	Kaakoush et al., 2015; WHO, 2022
Escherichia coli (AEEC, ExPEC)	Infections urinaire, septicémie	Collibacillose (respiratoire, septicémique)	Poulets	Élevages intensifs	fumier	Humain	Contact direct ou aérosols contaminés	Mellata, 2013; CDC, 2021
Listeria monocytogenes	Listériose (sévère chez les immunodéprimés)	Rare chez les volailles	Environnement, surfaces	Abattoirs, chaînes de froid	Aliments contaminés	Humain	Ingestion de produits avicoles transformés	Farber & Peterkin, 1991; EFSA? 2022
Mycobacterium avium complex	Infections pulmonaires chroniques	Nodules granulomateux (rare)	Volailles, oiseaux sauvages	Sols contaminés	NR	Humain	Inhalation ou ingestion	Inderlied et al., 1993 ; Wallace et al.,1990

NR: non rapporté(es) ou non décrit(es).

Tableau 9 : Principales zoonoses parasitaires décrites chez les volailles

Parasite	Maladie humaine	Manifestation chez la volaille	Hôtes réservoirs	Système écologique réservoir	Hôte messenger (vecteur)	Hôtes incidents	Modalités de contamination	Références
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose (asymptomatique, sévère si immunodépression ou grossesse)	Rare, parfois portage intestinal	Chat, oiseaux, volailles)	Elevages, sols contaminés	Oeufs, viandes	Humains	Ingestion de viande mal cuite ou œufs contaminés	Dubey, 2010; EFSA, 2018
<i>Cryptosporidium meleagridis</i>	Cryptosporidiose (diarrhée aiguë, sévère chez les immunodéprimés)	Diarrhée chez les jeunes dindions	Dinde, Poulets, oiseaux exotiques	Elevages, eaux souillées	Eau, fientes	Humains	Ingestion d'eau ou contact fécal contaminé	Ryan et al., 2014 ; Xiao et al., 2004
<i>Echinostoma</i> spp	Echinostomose (troubles digestifs)	portage	Oiseaux aquatiques, volailles	Zones humides, rizières	Mollusque, végétaux	Humains	Ingestion de mollusques ou de végétaux crus contaminés	Toledo, 2009; Chai et al., 2005
<i>Giardia duodenalis</i>	Giardiose (diarrhée, crampes, ballonnements)	Rarement détectée chez les volailles	Mammifères, volailles	Eaux de surface, élevages	Eau, aliments	Humains	Ingestion d'eau ou aliments souillés	Thompson, 2004 ; Feng & Xiao 2011
<i>Sarcosystis</i> spp	Sarcocytose (asymptomatique à diarrhée)	Kystes dans les muscles, souvent asymptomatique	oiseaux, volailles)	Cycle prédateur-proie	Viande crue	Humains	Ingestion de viande mal cuite contenant des kystes	Dubey et al., 1989 ; Faye, 2004r

Tableau 10 : Principales zoonoses fongiques décrites chez les volailles

Champignon	Maladie humaine	Manifestation chez la volaille	Hôtes réservoirs	Système écologique réservoir	Hôte messenger (vecteur)	Hôtes incidents	Modalités de contamination	Références
Histoplasma capsulatum.	Histoplasmosse (respiratoire disséminée)	Asymptomatique	Sols souillés par les fientes	Poulaillers, greniers	Aérosols fécaux	Humains	Inhalation de spores depuis les sols souillés par les fientes)	Kauffman et al., 2007; CDC, 2022
Candida albicans	Candidose (cutanée, digestive, systémique)	Candidose buccales ou digestive (rare)	Volailles, humains	Intestine, environnement humide	Contact direct	Humains	Dysbiose, contact prolongé avec animaux infectés	Calderone & Fonzi, 2001
Aspergillus fumigatus	Aspergillose (respiratoire, invasive chez les immunodéprimés)	Pneumonie, plaques fongiques pulmonaires	Volailles, sols litières	Elevage, silos, litières	Poussières d'élevages	Humains	Inhalation de spores fongique dans la poussière	Richard et al., 1999; Tell, 2005
Cryptococcus neoformans	Cryptococcose (pneumonie, méningite)	Asymptomatique, présence dans les fientes	Pigeons, volailles	Fientes sèches, sols	Aérosols	Humains	Inhalation de spores en milieux contaminés	Casadevall & Perfect, 1998; CDC, 2022












Tableau 11 : Principales ZAV potentiellement transmises entre les volailles et l'humain rapportées dans la sous-région Ouest Africaine y compris le Togo



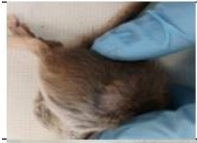
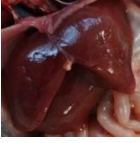








Agents pathogènes	Maladie humaine	Manifestation chez la volaille	Hôtes réservoirs	Systèmes écologiques réservoirs	Hôtes messagers	Hôtes incidents	Modalités de contaminations	Références
Salmonella enterica (Enteritidis, Typhimurium)	Salmonellose non typhoïdique	Asymptomatique ou entérite	Volailles (poules pondeuses, poulets de chair)	Élevages de subsistance, marchés vivants	Œufs, viande, matériel contaminé	Humain	Consommation ou manipulation de produits avicoles contaminés	Adjrah et al. (2013); Kiki-Barro et al. (2016)
Campylobacter jejuni, C. coli	Campylobactériose	Portage asymptomatique	Poulets de chair, dindes	Marchés traditionnels, abattoirs artisanaux	Viande crue, eau contaminée	Humain	Viande insuffisamment cuite, eau contaminée	Adjrah et al. (2013); Jonduo et al. (2022)
Virus Influenza aviaire (H5N1)	Grippe aviaire zoonotique	Mortalité aviaire massive, signes respiratoires	Poules, canards	Zones rurales, élevages familiaux	Contact direct avec volailles malades	Humain	Manipulation ou abattage de volailles infectées	FAO/EMPRES (2006); OIE (2021)
Newcastle Disease Virus (NDV) – Avulavirus 1	Exposition possible mais très rare conjonctivite	Maladie de Newcastle : atteinte respiratoire, digestive, nerveuse	Poulets	Élevages traditionnels, marchés vivants	Aérosols, plumes, déjections	Humain (ophtalmologues, manipulateurs)	Aérosols lors de la manipulation de volailles infectées	Kotor K. et al. (2019); Echeonwu et al. (2001)

Tableau 12 : Principales ZAV potentiellement transmises entre les volailles et l'humain rapportées au France





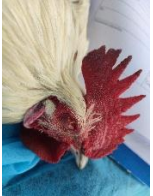











Agents pathogènes	Maladie humaine	Manifestation chez la volaille	Hôtes réservoirs	Systèmes écologiques réservoirs	Hôtes messagers	Hôtes incidents	Modalités de contaminations	Références
Salmonella enterica (Enteritidis, Typhimurium)	Salmonellose non typhoïdique	Asymptomatique ou entérite	Volailles (poules pondeuses, poulets de chair)	Élevages industriels, basse-cour, environnement fécal-contaminé	Œufs, viande, matériel contaminé	Humain	Ingestion d'aliments contaminés, contact direct	EFSA (2023); Eng et al. (2015)
Campylobacter jejuni, C. coli	Campylobactériose	Portage intestinal asymptomatique	Poulets, dindes	Élevages avicoles, environnement humide	Viande crue, eau contaminée	Humain	Ingestion de viande mal cuite, manipulation de volailles crues	Kaakoush et al. (2015); EFSA (2023)
Virus Influenza aviaire (H5N1, H7N9, H9N2)	Grippe aviaire zoonotique	Symptômes respiratoires, mortalité élevée	Canards, poules, dindes	Zones humides, élevages avicoles, marchés	Aérosols, contact animal-humain	Humain	Contact direct ou indirect avec volailles infectées	WHO (2024); Uyeki & Cox (2013)
Escherichia coli (APEC)	Infections opportunistes (rare)	Colibacillose, septicémie aviaire	Volailles	Élevages avicoles	Aérosols, surfaces contaminées	Humain (rarement)	Contact avec excréments ou matériel infecté	Mellata (2013); Tivendale et al. (2010)
Aspergillus fumigatus	Aspergillose respiratoire	Aspergillose aviaire (poumons, sacs aériens)	Litière contaminée (paille, fientes)	Bâtiments d'élevage mal ventilés	Spores dans l'air	Humain immunodéprimé	Inhalation de spores	Latgé (1999); Richard et al. (2020)

Annexe 3: lésions pathologiques recensées chez les rongeurs

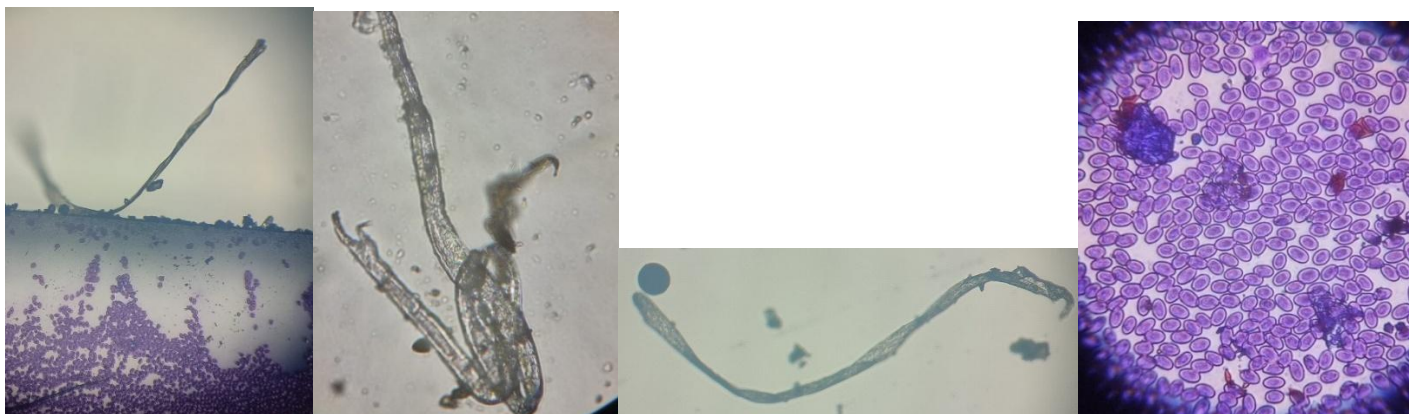
	 <p>Kystes hydatique</p>	 <p>Kyste d'échinococose</p>	 <p>Cirrhose du foie</p>	 <p>Fibrose hépatique</p>
Lomé	 <p>Tularémie du foie</p>	 <p>Strobilocercus fasciolaris</p>	 <p><i>Calodium hepaticum</i></p>	 <p>Consolidation pulmonaire cranio-ventrale (CPCV) : <i>Pasteurella multosida</i></p>
	 <p>Nécrose pulmonaire: CPCV</p>	 <p>Lésions dermatophytes : <i>Microsporum</i> spp et <i>Trichophyton</i> spp</p>	 <p>Abscès au niveau du coup : lymphadénite cervicale (<i>Streptococcus zooepidemicus</i>)</p>	 <p>patte antérieur enflée : ectromélie (poxivirus)</p>
	 <p>dépôt de plaque noir sur le foie</p>	 <p>Foie graissé : Séatose hépatique</p>	 <p>Puces</p>	 <p>Tiques</p>

	 <p>Angiostrongillus spp</p>	 <p>Sinusite infra-orbitale et conjonctivite : Pasteurella spp</p>	 <p>Teigne</p>	 <p>Strobilocercus fasciolaris</p>
Strasbourg	 <p>Tumeurs mammaire (Retrovirus MMTV)</p>	 <p><i>Calodium hepaticum</i></p>	 <p>Lésions dermatophytes</p>	 <p>Gale : Notoedres muri</p>
	 <p>Tænia spp</p>	 <p>Puces</p>	 <p>Acarien</p>	 <p>Tiques</p>

Annexe 4: Maladies recensées chez les volailles

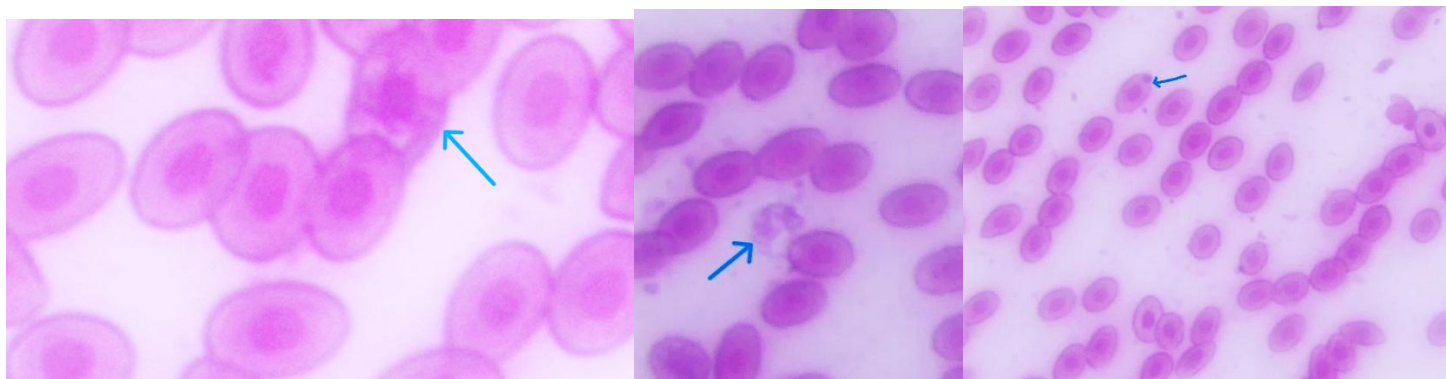
Région des Savanes	 <p>Boutons varioliques : Variole aviaire</p>	 <p>Ecoulements oculaires et toux : Laryngotrachéite infectieuse</p>	 <p>Collibacilloses</p>	 <p>Gonflement de sous pieds : pododermatite causée par Staphylococcus spp</p>
Région de la Kara	 <p>Congestion de crête : coryza</p>	 <p>Pasteurellose</p>	 <p>Galle des pattes et gonflement : Staphylococcus spp</p>	 <p>Gonflement articulaire des doigts : staphylococcus spp</p>
Région Centrale	 <p>Lésion des tiques</p>	 <p>Mycoplasmosse aviaire</p>	 <p>Salmonella spp</p>	 <p>Posture anormale : maladie de Newcastle</p>
Maritime	 <p>Ecoulement oculaire et tête gonflée : syndrome de coryza</p>	 <p>Cécité totale : Leucose aviaire (Avian Sarcoma Leukosis Virus)</p>	 <p>Ailes tombantes, pattes : grand écart : maladie de Mareck</p>	 <p>Début Mareck (infection nerveuse)</p>

Annexe 5: Autres morphotypes d'agents détecté chez les volailles



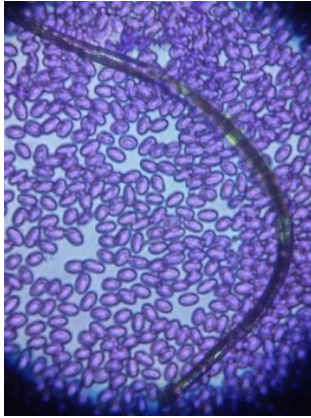
Microfilaire *Brugia* spp

Multi-infection

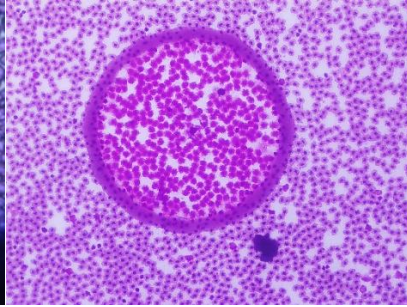


*Plasmodium* spp

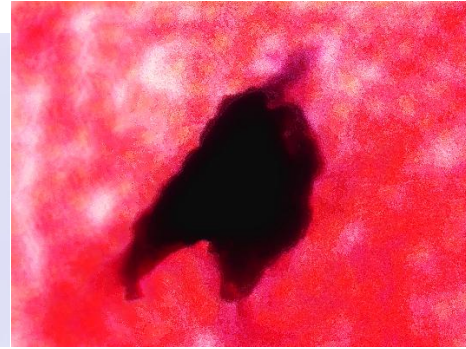
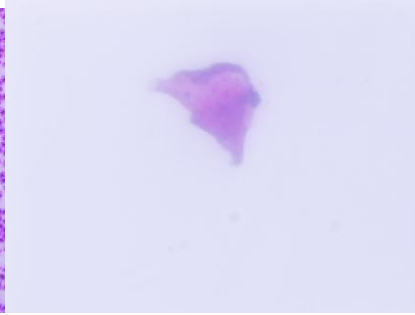
*Anaplasma* spp



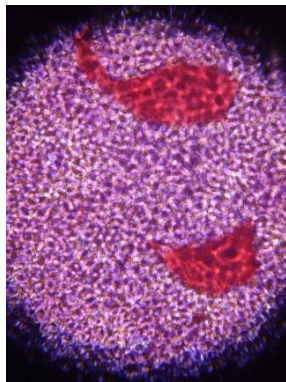
*Dirofilaria* spp



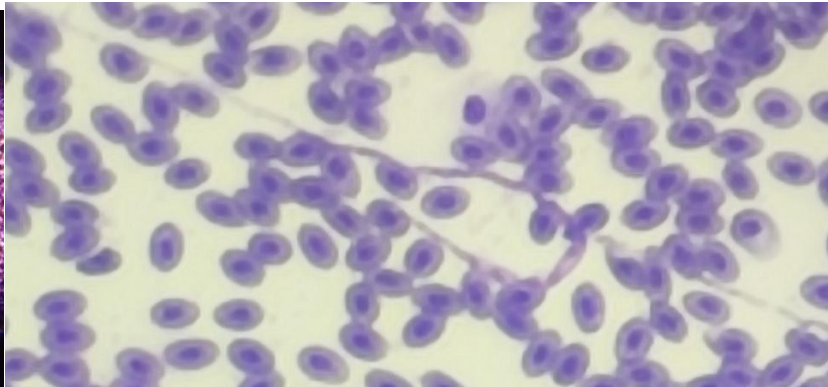
*Leucocytozoon* spp



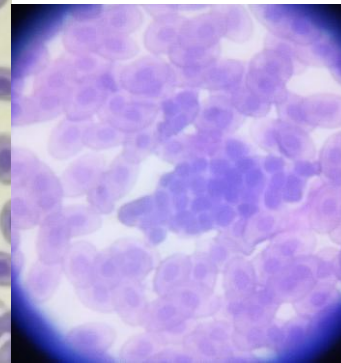
*Leishmania* spp



*Toxoplasma* spp



Spirochètes



*Leishmania* spp

**Questionnaire pour décrire les systèmes d'élevages avicoles dans la zone d'étude**

**+ Description du poulailler**

1	Combien avez-vous de poules dans votre poulailler ? Nombre exact :
2	a) Avez-vous d'autres espèces d'oiseaux ? o Oui . o Non
	b) Si oui précisez lesquelles et leurs nombres :
	c) Avez-vous d'autres animaux à part les oiseaux ? o Oui . o Non
	d) Si oui précisez lesquelles et leurs nombres : Moutons : ..... Chèvres : ..... Porcs : ..... Bœufs : ..... Ânes : ..... Chevaux : ...
3	Depuis quand possédez-vous des volailles ? o < 2 ans o Entre 2 et 5ans o Entre 5 et 10 ans o Entre 10 et 30 ans o Supérieur à 30ans
4	Pour quelle (s) raison (s) possédez-vous des volailles ? (Plusieurs réponses possibles) o Pour la compagnie et la relations homme – animal o Pour l'ornement o Pour consommer les œufs et les viandes de qualité o Pour les vendre pendant les périodes de besoins financiers o Pour recycler/valoriser les déchets organiques o Pour des raisons éthiques et écologiques (manger local, respect du bien-être animal)

**+ Description de vos pratiques**

5	Combien de fois par jour allez-vous voir vos volailles ? o Moins d'une fois par jour o Une fois par jour o 2 fois par jour o >2 fois par jours
6	a) Avez-vous des chaussures ou EPI spécifiques au poulailler ? o Oui . o Non
	b) Protégez-vous (la tête, bouche, nez, les mains, ...) lors de l'entretien du poulailler o Oui . o Non
	c) Vous lavez-vous les mains ou prenez-vous un bain après être allé voir ou nettoyer vos poulaillers ? o Jamais o Parfois o Souvent o Toujours
7	Alimentation : les volailles mangent-t-elles en priorité ? (Deux réponses possibles) o Des restes de repas o Du blé ou maïs (mélangé par vos soins) o Un mélange de céréales acheté dans le commerce o Un aliment complet du commerce (granulés)
8	Donnez-vous ou vendez-vous des œufs à vos voisins/famille/amis/collègues ? o Jamais o Parfois o Souvent o Toujours
9	a) Lavez-vous les œufs issus de vos poules ? o Oui . o Non
	b) Si oui, quand ? o avant la consommation o après le ramassage
10	Mettez-vous en place des mangeoires ou buviers pour les volailles ? o Oui . o Non



### ↓ Santé du poulailler

22	a) Avez-vous remarqué des signes cliniques sur les volailles ces dernières années ? o Oui . o Non
	b) Si oui, quelles sont leurs caractéristiques (plusieurs choix possibles) o Respiratoire o Digestive o Nerveuse o Locomotrice o Cutané o je ne sais pas
23	Avez-vous un vétérinaire particulier pour les soins ? o Oui . o Non
	a) Si oui, avez-vous consulté un vétérinaire au cours de ces dernières années pour vos volailles ? o Oui . o Non
	b) Si non, vous prodiguez vous-même les soins ? o Oui . o Non
24	a) Avez-vous effectué des traitements au cours de ces dernières années ? o Oui . o Non
	b) Si oui, à quelle fréquence ? o Fréquent ≤ 3mois o Moins fréquent >3mois o Rare
25	a) Traitez-vous habituellement vos animaux avec ? (une ou plusieurs réponses possibles) o Vitamines ou compléments minéraux o Antibiotiques o Vermifuges o Antiparasitaire externe o Produits alternatifs ou à base de plantes
	b) Où vous approvisionnez-vous en priorité ? (une réponse) o Cabinet vétérinaire o Animalerie o Internet o Pharmacie o Autre, précisez :
26	Avez-vous déjà entendu parler des maladies suivantes chez les volailles ? (Cochez les noms des maladies que vous connaissez et que vous suspectez chez vos animaux) o Peste aviaire o Variole o Salmonellose o Grippe (grippe aviaire) o Campylobacteriose o Leucose o Maladie de newcastle o Coccidioses o Goumboro o Choléra aviaire o Marek

27	Avez-vous déjà identifié dans vos poulaillers ou environnants ? (une ou plusieurs réponses possibles) <input type="radio"/> Oiseaux sauvages <input type="radio"/> Rats, souris <input type="radio"/> Insectes (tiques, puces, poux, mouches, moustiques) <input type="radio"/> Autres, précisez :
28	Observez-vous des menaces de prédateurs sur vos volailles ? <input type="radio"/> Epervier, <input type="radio"/> Renard <input type="radio"/> Musaraignes <input type="radio"/> Autres, précisez :
29	Type et mode d'exploitation <input type="radio"/> Uniquement les poules, <input type="radio"/> Mixte, <input type="radio"/> Familial <input type="radio"/> Commercial

**✦ Descriptif du propriétaire du poulailler**

30	Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous ? <input type="radio"/> De 16 à 29 ans <input type="radio"/> De 30 à 49 ans <input type="radio"/> De 50 à 64 ans <input type="radio"/> 65 ans et plus
31	Vous êtes ? <input type="radio"/> Homme <input type="radio"/> femme <input type="radio"/> célibataire <input type="radio"/> marié <input type="radio"/> divorcé <input type="radio"/> veuf (ve)
32	Nombre d'enfant :
33	a) Quelle a été votre formation initiale :
	b) Quelle est votre catégorie socio-professionnelle ? <input type="radio"/> Agriculteurs exploitants <input type="radio"/> Artisans, commerçants, chefs d'entreprise <input type="radio"/> Cadres et professions intellectuelles supérieures <input type="radio"/> Professions intermédiaires <input type="radio"/> Employés <input type="radio"/> Ouvriers <input type="radio"/> Retraités <input type="radio"/> Autres personnes sans activités professionnelle <input type="radio"/> Etudiants <input type="radio"/> Élèves
34	Où avez-vous entendu parler du projet d'élevage ? :

**✦ Consentement**

Seriez-vous d'accord pour participer à la suite de l'étude ? <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non Si oui, vos contacts Téléphone : Mail : Adresse
---

Pour plus d'information, nous contacter au +228 92 44 25 58/ Mail : [komlan.toudji@iphc.cnrs.fr](mailto:komlan.toudji@iphc.cnrs.fr)

Ou rendez vous à l'Université de Lomé : Centre d'excellence de Recherche en Sciences Aviaires (CERSA) ou au Laboratoire d'Ecologie et d'Ecotoxicologie (LaEE) de la Faculté des Sciences de l'Université de Lomé.

Date de l'enquête : ...../ Lat : .....Longi : .....

Préfecture : .....Canton : .....Village : .....