



ONE HEALTH OI  
Partenariat de recherche et d'enseignement  
"Une seule santé" de l'école à l'individu



## MASTER 2

« Gestion Intégrée des Zoonoses et des Maladies Animales Tropicales »

---

RAPPORT DE STAGE

# Etude de la dynamique de circulation des carnivores domestiques errants et divagants en lien avec les risques infectieux associés à la Réunion

---

Présenté par

**VARAIS Anaëlle**

Stage réalisé du 15 Janvier 2024 au 27 Juin 2024

Au **Cirad de La Réunion** (France), hébergé au CYROI à la Réunion

**Financé par le FEADER et la Préfecture de la Réunion**

Sous la direction de

**SQUARZONI-DIAW Cécile** – Vétérinaire épidémiologiste

Soutenu le 27 Juin 2024

## Remerciements

### **A Cécile,**

Merci de m'avoir donné l'opportunité de réaliser ce stage et m'avoir permis d'évoluer avec autonomie et monter en compétences sur ces sujets.

### **A David,**

Merci pour ton avis éclairé sur certaines de mes analyses statistiques, pour le temps pris afin de trouver des solutions pour les problèmes liés au GPS et pour les discussions enrichissantes.

### **A Katerina,**

Pour le temps pris pour échanger sur les sujets de mon stage que tu avais commencé à entreprendre à la Réunion et que tu poursuis avec brio à Madagascar.

### **A Thierry, Marlène, Renaud et Anaïs,**

Merci pour l'accompagnement et l'écoute lors de ce stage, vos conseils et votre aide ont été précieux.

### **A M. Grosbois Vladimir et M. Vergne Timothée,**

Pour l'expertise et les conseils avisés sur l'analyse de mes données.

### **A l'ensemble de l'équipe (on manz ou quoi ?),**

Merci pour tous les déjeuners et les moments passés au Cyroi mais surtout hors travail. J'ai passé de superbes mois à vos côtés et j'espère avoir l'occasion de tous vous revoir.

### **A mes colocataires,**

Merci Auriane, Bastien, Jéro et Noé de m'avoir si bien accueillie dans cette kaz, pour ces soirées de quiz / blind test endiablées et les discussions dans la cuisine. J'espère qu'on aura l'opportunité de se revoir rapidement !

### **A ma famille et mes amis de métropole,**

Merci d'avoir toujours été là, même si on est souvent séparés par plusieurs milliers de km. Un grand merci à mes parents pour leur soutien inconditionnel et leur venue sur l'île. Ces vacances à vos côtés étaient parfaites.

### **A Ton'Ton',**

Merci d'avoir été présent dans les bons moments comme dans les gros moments de down. A tous ces weekends incroyables à visiter l'île, très désorganisés mais toujours réussis. Je suis si fière de ce que tu as accompli ici et aux Comores et je suis certaine que tu vas assurer en septembre.

## TABLE DES MATIERES

Remerciements.....	1
TABLE DES FIGURES .....	5
TABLE DES TABLEAUX.....	5
I. INTRODUCTION.....	6
A. Enjeux de la circulation des carnivores domestiques à la Réunion .....	6
1. Risques sanitaires associés .....	6
2. Autres conséquences induites.....	7
3. Définitions de l'errance et la divagation des carnivores domestiques .....	8
4. Particularités de l'errance et la divagation sur l'île de la Réunion.....	8
B. Etat de l'art sur l'étude des dynamiques de population des carnivores domestiques en lien avec les risques infectieux .....	9
1. Ecologie des carnivores domestiques errants et divagants.....	9
2. Utilisation du Global Positioning System (GPS) pour évaluer les domaines vitaux de chiens circulants .....	9
3. Comptage et densité de population de carnivores domestiques.....	10
C. Objectifs.....	11
II. MATERIEL ET METHODES.....	12
A. Suivi par GPS des chiens errants et divagants et estimation du domaine vital.....	12
1. Boitiers GPS utilisés .....	12
2. Sélection des individus et collecte de données.....	12
3. Nettoyage des données et analyses descriptives .....	12
4. Analyses spatiales.....	13
B. Protocole d'estimation de la taille de population de carnivores domestiques dans différents secteurs et points d'intérêts épidémiologiques .....	13
1. Sélection des zones de comptage.....	14
2. Méthode de collecte de données.....	15
3. Analyses des données .....	15
4. Lien avec les points d'intérêts épidémiologiques.....	16
C. Etude de cas : lien entre dynamique de population canine et néosporose dans les élevages à la Plaine des Cafres .....	16
1. Zone d'étude.....	16
2. Etude de la population canine et de sa circulation à la Plaine des Cafres.....	16
3. Prélèvements sanguins et analyses sérologiques de <i>Neospora caninum</i> .....	18
4. Autorisations et fiches explicatives .....	18
III. RESULTATS.....	18
A. Suivi par GPS des chiens errants et divagants et estimation du domaine vital.....	18

1.	Comparaison des deux boitiers GPS (Traccar et Tracki).....	18
2.	Description des individus étudiés.....	19
3.	Ajustement du protocole.....	20
4.	Analyses descriptives.....	20
5.	Analyses spatiales et domaines vitaux .....	22
B.	Estimation de la taille de population de carnivores domestiques dans différents secteurs et points d'intérêts épidémiologiques.....	23
1.	Analyses descriptives des individus observés par zones .....	23
2.	Estimation de la taille de population.....	26
3.	Points d'intérêts épidémiologiques.....	27
C.	Etude de cas : lien entre dynamique de population canine et néosporose dans les élevages à la Plaine des Cafres .....	28
1.	Résultats du questionnaire sur la population canine dans la zone d'étude .....	28
2.	Résultats du comptage dans la zone sélectionnée.....	29
3.	Résultats du suivi GPS sur chien divagants dans la zone .....	29
4.	Résultats des prélèvements sérologiques néosporose .....	30
IV.	DISCUSSION .....	30
A.	Suivi GPS des chiens errants et divagants et estimation du domaine vital .....	30
1.	Collecte de données GPS.....	30
2.	Dynamique de circulation et domaines vitaux .....	31
3.	Perspectives d'amélioration .....	32
B.	Estimation de la taille de population de carnivores domestiques dans différents secteurs et points d'intérêts épidémiologiques.....	32
1.	Nombre d'observation et estimation des tailles de population .....	32
2.	Limites et perspectives d'amélioration.....	33
C.	Liens des dynamiques de population avec les risques infectieux .....	33
D.	Etude de cas : lien entre dynamique de population canine et néosporose dans les élevages de la Plaine des Cafres.....	34
1.	Circulation de la population canine dans les zones d'intérêts .....	34
2.	Résultats néosporose .....	34
3.	Perspectives d'amélioration .....	34
V.	CONCLUSION.....	35
	ANNEXE 1 : Formulaire écrit sur KoboToolBox et utilisé pour le comptage des carnivores domestiques dans différentes zones.....	36
	ANNEXE 2 : Formulaire utilisé pour le recensement de la population canine à la Plaine des Cafres dans le cadre de l'étude sur le rôle épidémiologique du chien dans la néosporose en élevage .....	37
	ANNEXE 3 : Flyer distribué dans la zone de la Plaine des Cafres pour le recensement de la population canine .....	39

ANNEXE 4 : Consentement éclairé pour l'étude sur le rôle épidémiologique du chien dans la néosporose en élevage à la Plaine des Cafres.....	41
ANNEXE 5 : Plaquette explicative de l'étude utilisée lors des sessions de porte à porte à la Plaine des Cafres.....	42
ANNEXE 6 : Cartographie des domaines vitaux des trois chiens autre que Milo et Wappy suivis par GPS .....	43
ANNEXE 7 : Résultats spatiaux des comptages dans chaque zone.....	45
BIBLIOGRAPHIE.....	46

## TABLE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Zones de comptage à Saint Denis avec les transects déterminés avant les sessions de comptage. Réalisées selon les domaines vitaux obtenus à partir des données GPS : (a) et (b) et réalisées sans données GPS préalables : (c) et (d).</i> .....	14
<i>Figure 2 : Zone d'étude à la Plaine des Cafres</i> .....	17
<i>Figure 3 : Comparaison des tracés donnés par les deux boîtiers GPS sur deux jours d'observation. (a) : Traccar. (b) : Tracki®</i> .....	19
<i>Figure 4 : Durée de vie de la batterie selon le type de boîtier GPS</i> .....	19
<i>Figure 5 : Colliers GPS avec boîtier Traccar posés sur deux chiens (Milo à gauche et Wappy à droite)</i> .....	20
<i>Figure 6 : Nombre de données selon les jours d'observation (à droite en vert) et selon les horaires de la journée (en bleu à droite). Observations pour Milo (en haut : (a) et (b)), chien errant de la meute communautaire du Colorado et pour Wappy (en bas : (c) et (d)), chien divagant de la Plaine des Cafres.</i> .....	21
<i>Figure 7 : Analyse par période de la journée sur QGIS des positions GPS de Milo, chien appartenant à la meute communautaire du Parc du Colorado à La Montagne (Saint Denis).</i> .....	22
<i>Figure 8 : Domaine vital de Milo, chien errant de la meute communautaire du Parc du Colorado.</i> .....	23
<i>Figure 9 : Nombre d'observations de chiens et de chats en fonction des secteurs.</i> .....	24
<i>Figure 10 : Nombre d'observations pour chaque zone selon les périodes de comptage (matin ou après-midi)</i> . .	24
<i>Figure 11 : Statut de circulation des chiens selon les zones de comptage</i> .....	25
<i>Figure 12 : Analyse Factorielle des Données mixtes réalisée sur le tableau de données de comptage pour toutes les zones confondues.</i> .....	25
<i>Figure 13 : Classification ascendante hiérarchique des données sur la santé et sur les caractéristiques des observations sur tous les comptages confondus</i> .....	26
<i>Figure 14 : Recensement des points d'intérêts épidémiologiques dans une zone lors du comptage à la Technopole</i> .....	28
<i>Figure 15 : Proportion de l'autorisation de la divagation des chiens en réponse au formulaire à la Plaine des Cafres</i> .....	29
<i>Figure 16 : Répartition des observations de la circulation de chiens à la Plaine des Cafres</i> .....	29
<i>Figure 17 : Domaine vital de deux chiens divagants et chevauchement avec les pâtures d'éleveurs interrogés. LKDE : Location based kernel density distribution</i> .....	30

## TABLE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Récapitulatif des individus suivis par GPS.</i> .....	20
<i>Tableau 2 : Récapitulatif de la collecte de données GPS et des domaines vitaux pour chaque individu étudié.</i> ...	23
<i>Tableau 3 : Estimation de l'abondance des populations et de la densité par secteur calculés à l'aide de l'estimation de Chapman.</i> .....	27
<i>Tableau 4 : Estimation d'abondance d'animaux par la fonction closedp et par l'estimation de Chapman selon les zones</i> .....	27
<i>Tableau 5 : Récapitulatif des caractéristiques de chaque GPS et de leur possible utilisation</i> .....	31

## I. INTRODUCTION

### A. Enjeux de la circulation des carnivores domestiques à la Réunion

L'écologie et le contrôle des carnivores domestiques en liberté, à savoir le chien (*Canis lupus familiaris*) et le chat (*Felis catus*), ont fait l'objet de nombreuses études internationales (Barnard et al., 2015). La circulation en liberté de ces animaux dans les zones habitées pose des problématiques de santé publique et vétérinaire ainsi que des enjeux environnementaux et de bien-être animal.

#### 1. Risques sanitaires associés

Les animaux domestiques errants entrent en jeu dans des problèmes de santé publique et animale en tant que réservoirs de nombreuses maladies infectieuses et parasitaires, qui peuvent de surcroît être zoonotiques. C'est le cas de la rage qui sévit encore dans de nombreuses régions du monde et notamment dans des pays à faible revenu d'Asie et d'Afrique tel que Madagascar. Elle entraîne la mort de 59 000 personnes chaque année dans le monde sachant que 99 % des cas sont dus à des morsures de chien (OMSA, 2024).

Le mouvement non contrôlé de cette catégorie d'animaux accentue leur exposition à des agents pathogènes et la possibilité de transmission. L'accès aux ressources des populations errantes est généralement plus difficile entraînant souvent des problèmes de malnutrition, les rendant ainsi plus sensibles aux maladies infectieuses ou parasitaires. En outre, ils ont généralement accès à des espaces partagés avec les humains et des animaux domestiques non divagants et peuvent devenir une source d'infection majeure. Par exemple, les parasites couramment présents dans les excréments de chiens tels que *Ancylostoma caninum* et *Toxocara canis* peuvent être transmis à des chiens en balade appartenant à des propriétaires. Ces parasites sont également zoonotiques et peuvent occasionner des symptômes cliniques chez l'être humain dus à des phénomènes de larva migrans (Gill et al., 2022).

Par ailleurs, de par leur proximité avec les humains, les carnivores domestiques sont souvent utilisés en tant que sentinelle pour étudier des maladies humaines (Bowser and Anderson, 2018).

#### a. Risques sanitaires à la Réunion

A la Réunion, les risques sanitaires pour la santé publique liés à la circulation d'animaux errants sont à considérer.

Premièrement, même si le territoire réunionnais est officiellement indemne de rage, le risque d'une importation n'est pas nul. En effet, la rage est encore présente à Madagascar, l'Afrique du Sud et d'autres pays de la région du Mozambique (Andriamandimby et al., 2023). Les douanes maritimes et aériennes contrôlent le statut sanitaire de tous les animaux qui rentrent sur l'île, néanmoins les fraudes sont toujours possibles. Une pénétration sur le territoire d'un animal atteint par la rage pourrait avoir des conséquences catastrophiques en termes de santé publique. L'abondance de la population canine divagante et errante et sa proximité avec le compartiment humain favoriserait une dispersion rapide de la maladie.

Les zoonoses parasitaires sont favorisées par le climat tropical présent sur l'île, conditions donnant lieu à un raccourcissement du cycle parasitaire. Les *Ascaris* (*Toxocara canis* et *Toxocara cati*) sont des nématodes très souvent retrouvés chez les carnivores domestiques. Comme évoqué précédemment, ce parasite est zoonotique et souvent retrouvé chez les enfants. On estime à 93% la prévalence de la toxocarose à la Réunion, alors qu'elle n'est que de 4.8% en France métropolitaine en milieu urbain et

de 14.2% en milieu rural. D'autres parasites internes, tels que *Ancylostoma caninum* chez le chien ou *Toxoplasma gondii* chez le chat constituent un réel risque pour la santé humaine, d'autant plus que pour la toxoplasmose il a été montré que les chats errants sont plus souvent porteurs que les chats familiers (Nutter et al., 2004).

D'autre part, les carnivores domestiques circulants peuvent également avoir un rôle dans la transmission de la leptospirose, zoonose bactérienne. Cette dernière est endémique à la Réunion et est causée par une bactérie à Gram négatif du genre *Leptospira*. Chez l'humain, l'infection se fait essentiellement par voie digestive ou cutanée et entraîne des symptômes systémiques graves. Une étude réalisée en 2023 a analysé 234 échantillons d'urine de chiens et de chats par PCR et a obtenu une prévalence de 4,7% sur l'île de la Réunion, faisant de la leptospirose, une des principales zoonoses de l'île. Cette étude semble également montrer que les populations canines et félines ne jouent pas un rôle majeur dans l'épidémiologie de la leptospirose humaine à La Réunion même s'il est à noter que l'échantillon sous représente les régions Est et Sud de l'île, qui enregistrent le plus de cas de leptospirose humaine (Addala, 2023).

Enfin, le rôle des carnivores domestiques dans les phénomènes d'antibiorésistances interroge et fait l'objet d'une étude et d'un protocole de surveillance au sein du Cirad (Rabaly, 2023). Ils sont aussi des réservoirs potentiels de maladies pouvant être transmises au compartiment domestiques. C'est le cas de maladies d'élevage telles que la fièvre Q ou encore la néosporose.

#### **b. La néosporose**

Cette maladie parasitaire non zoonotique causée par le protozoaire *Neospora caninum*, est une maladie qui touche principalement les bovins (hôte intermédiaire) et les chiens (hôte définitif) (Anvari et al., 2020). Elle sollicite l'attention de la filière d'élevage car elle constitue l'une des deux principales causes d'avortement et de mortalité néonatale avec la fièvre Q chez les bovins. A La Réunion, *N. caninum* serait ainsi impliquée dans près de 30% des avortements (Gares, 2003).

La transmission de ce parasite en élevage se fait de deux manières : la première majoritaire est une transmission verticale durant la gestation (de la mère au fœtus) et la deuxième se fait par transmission horizontale par ingestion d'oocystes excrétés par le chien dans ses fèces. Les oocystes sont très résistants dans le milieu extérieur et contaminent les pâtures et aliments. Le chien fait partie intégrante du cycle en tant qu'hôte définitif et se contamine en ingérant des placentas ou avortons de ruminants infestés. Cependant, la caractérisation des modalités de transmission des oocystes aux ruminants est encore mal connue. Sur un territoire comme la Réunion où la circulation de chiens domestiques est importante, il est intéressant de s'interroger sur le rôle épidémiologique du chien dans la présence de la maladie en élevage (Roger-Callewaert, 2023).

### **2. Autres conséquences induites**

Les chiens en état de divagation contribuent également à des incidents tels que les morsures, avec des études suggérant un total de 10 millions de blessures sur humains annuellement (OMS, 2024). De même, les attaques de troupeaux sont fréquentes avec des pertes économiques pour les éleveurs qui s'élèvent à plusieurs milliers d'euros (EPLEFPA-CFPPA de Saint-Paul, 2018).

De plus, la circulation d'animaux domestiques provoque des accidents, ainsi que des dommages causés aux populations de la faune sauvage, impactant la biodiversité (Hughes and Macdonald, 2013; Lepe et al., 2017). A la Réunion, le statut ilien du territoire implique d'autant plus de conséquences écologiques liés aux populations errantes vis-à-vis de la faune sauvage endémique. C'est le cas

notamment des chats « harets », chats errants revenus à un état sauvage, qui ont un impact direct sur les populations de pétrels ou de tuit-tuit, espèces d'oiseaux endémiques de la Réunion. Ces derniers consomment les œufs et les oisillons mais également les adultes et fragilise la biodiversité (Boyer, 2021; Michel and Riethmuller, s.d.).

### 3. Définitions de l'errance et la divagation des carnivores domestiques

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé Animale (OMSA), un « chien en état de divagation » est défini comme « tout chien non soumis à une surveillance directe d'une personne ou susceptible de divaguer » (OMSA, 2023). On compte ainsi plus de 700 millions de chiens dans le monde dont 75% considérés libres de circuler (Hughes and Macdonald, 2013).

L'errance et la divagation des carnivores domestiques sont réglementés en France dans le Code rural et de la pêche maritime (CRPM). L'article L211-23 du CRPM définit la divagation comme suit (Code rural et de la pêche maritime, 2005) :

- Un chien est considéré en divagation s'il n'est pas sous la surveillance de son maître, se trouve hors de portée de voix ou de tout instrument sonore permettant son rappel, ou est éloigné de plus de cent mètres de son propriétaire, sauf en cas de chasse, de garde ou de protection du troupeau.
- Un chat est en divagation s'il n'est pas identifié et se trouve à plus de deux cents mètres des habitations, ou à plus de mille mètres du domicile de son maître sans surveillance immédiate, ou s'il est non identifié et capturé sur la voie publique ou sur la propriété d'autrui.

L'article L211-19-1 du CRPM implémente l'interdiction de laisser divaguer des animaux domestiques.

Les animaux en état de divagation proviennent de différentes sources, à savoir des animaux possédés qui errent librement, des animaux possédés abandonnés et des animaux sans propriétaire qui se reproduisent avec succès (OMSA, 2023). La relation étroite des animaux domestiques avec l'humain explique leur comportement d'errance qui est influencé par la présence de nourriture, d'eau et d'abri fournis par les communautés humaines. Par conséquent, le maintien d'une population errante est dû à de nombreux facteurs humains et notamment la présence de déchets comestibles accessibles, l'augmentation du compartiment errant par les abandons et la divagation et le manque de programmes de contrôle des naissances durables et régulièrement appliqués (Chandran and Azeez, 2016).

### 4. Particularités de l'errance et la divagation sur l'île de la Réunion

L'île de la Réunion est un département et une région française situé dans l'océan Indien au sein de l'archipel des Mascareignes.

Une étude réalisée en entre 2017 et 2018 a permis de faire un état des lieux de l'errance des carnivores domestiques à la Réunion (EPLEFPA-CFPPA de Saint-Paul, 2018). Elle a mis en évidence à l'aide d'une enquête à grande échelle que l'île héberge 265 000 chiens dont 43 000 qui sont sans propriétaires. En comptant les chiens de propriétaires non confinés, on atteint 73 000 chiens qui sont libres de circuler sur le territoire, soit près de 30% de la population canine totale. Au cours de sa vie, un chien peut passer d'un compartiment à l'autre, devenir errant alors qu'il était divagant ou être récupéré par une association pour revenir un chien confiné. Pour les chats, on estime à 160 000 les individus avec propriétaire reconnu. Il est beaucoup plus difficile de faire une séparation entre la population confinée et celle qui serait divagante car il est très peu fréquent que les propriétaires enferment leur chat (EPLEFPA-CFPPA de Saint-Paul, 2018).

Ces chiffres particulièrement élevés sur l'île de la Réunion s'expliquent par des facteurs qui favorisent le maintien voire l'expansion de ces populations. Tout d'abord, les conditions géographiques et le climat subtropical du territoire réunionnais sont propices à la survie de ces animaux. Le climat offre l'absence de période hivernale pouvant être éprouvante pour des animaux évoluant dans un milieu extérieur ainsi qu'un accès aisé à des ressources et à un hébergement. La densité de population humaine élevée sur l'île permet à des animaux de subvenir à leurs besoins grâce à l'homme. En outre, les abandons sont fréquents mais les adoptions locales sont rares, augmentant de facto le nombre d'animaux errants. On compte 210 000 chiens abandonnés dans le département entre 2000 et 2018 (EPLEFPA-CFPPA de Saint-Paul, 2018). Le statut îlien de la Réunion implique en plus une concentration importante de ces animaux liée à une impossibilité de migrer sur d'autres territoires. Enfin, les propriétaires ont davantage tendance à laisser leurs animaux divaguer : 16% de la population canine appartenant à un propriétaire est libre de circuler. Cela contribue également au maintien démographique du compartiment errant car les animaux ne sont pas forcément stérilisés et peuvent ainsi se reproduire entre eux.

## B. Etat de l'art sur l'étude des dynamiques de population des carnivores domestiques en lien avec les risques infectieux

### 1. Ecologie des carnivores domestiques errants et divagants

La compréhension de l'écologie des chiens et chats errants est particulièrement importante car ils peuvent servir d'indicateurs épidémiologiques dans la transmission à l'Homme et aux animaux d'élevages de maladies (Beck, 1973). Les mouvements et le comportement des animaux domestiques libre de circuler ont été étudiés de plusieurs manières et sont influencés par des facteurs extrinsèques tels que le paysage, la disponibilité des ressources ou encore la saison à l'image d'animaux sauvages. Ils ont aussi la particularité d'être de prime abord des animaux domestiques dont l'écologie est clairement dépendante des humains. Ces facteurs vont modifier les structures et les interactions entre les groupes d'individus et ainsi le schéma de propagation des maladies infectieuses.

Le domaine vital est un indicateur fréquemment utilisé en écologie pour comprendre comment l'animal utilise son environnement (Chadwick et al., 2010; Dürr et al., 2017). Nommé « home range » en anglais, il est défini comme l'aire dans laquelle un animal se déplace habituellement et où il peut trouver les ressources nécessaires pour survivre et se reproduire (Burt, 1943).

### 2. Utilisation du Global Positioning System (GPS) pour évaluer les domaines vitaux de chiens circulants

L'identification du domaine vital en écologie se fait généralement en employant des méthodes de géopositionnement satellitaire. De nombreuses études en faune sauvage utilisent cette technique pour évaluer cette aire pour des espèces différentes et notamment chez des canidés sauvages (Chadwick et al., 2010; Newsome et al., 2013; McNeill et al., 2016) mais aussi chez les chiens en liberté (Sparkes et al., 2014; Van Kesteren et al., 2013; Muinde et al., 2021; Cunha Silva et al., 2022; Sousa et al., 2023)

L'emploi de ces méthodes permet de comprendre la distribution spatiale des populations et de le lier à un risque de transmission de maladies zoonotiques ou d'élevages. L'amélioration des connaissances dans ce domaine permet également d'adapter les politiques publiques pour une prévention et un contrôle plus efficace de l'errance et des maladies qui peuvent être associées.

Plusieurs méthodes d'analyse ont été décrites pour estimer les domaines vitaux et les distributions d'utilisation (UD). La distribution d'utilisation est utilisée pour évaluer l'utilisation de l'espace dans une aire de répartition en intégrant le temps que l'animal a passé dans chaque zone. En utilisant une fonction de densité de probabilité pour examiner l'intensité de l'utilisation des différentes zones, on détermine la probabilité qu'un animal soit rencontré dans n'importe quelle partie de son domaine vital. Cela fournit donc des informations sur les zones les plus fréquentées par l'animal pour les relier à des éléments attracteurs ou à des zones où les contacts seront plus fréquents avec cette population errante par exemple (Hudson et al., 2017).

Plusieurs méthodes basées sur des enregistrements GPS ont été décrites pour estimer les domaines vitaux (DV) et les distributions d'utilisation (UD) individuels des animaux. Les méthodes statistiques choisies dans les différentes études pour estimer le domaine vital diffèrent, avec le polygone convexe minimal (MCP) (Sparkes et al., 2014), le calcul d'estimation par noyau (Location Kernel Density Estimation) (Dürr and Ward, 2014) et la méthode du Biased Random Bridge (BRB) (Dürr and Ward, 2014; Hudson et al., 2017; Molloy et al., 2017; Muinde et al., 2021; Warembourg et al., 2021).

Les résultats de ces études montrent des différences comportementales selon les individus, avec des chiens qui vont avoir tendance à rester autour de leur zone de repos alors que d'autres sont plus explorateurs (Hudson et al., 2017). En outre, certaines études montrent qu'il existe une influence du sexe sur le domaine vital alors que d'autres ne le mette pas en évidence (Dürr and Ward, 2014; Hudson et al., 2017). Pour les chiens divagants, il a été montré que leur activité est principalement influencée par les routines quotidiennes de leurs propriétaires, avec un pic notable en milieu de journée, qui varie fréquemment d'un jour à l'autre et diminue significativement avec l'âge, la stérilisation et l'augmentation de l'indice de condition physique (Griss et al., 2021).

### 3. Comptage et densité de population de carnivores domestiques

Afin de comprendre l'organisation d'une population de carnivores domestiques il est nécessaire de recourir à des méthodes de comptage et d'estimation de densité de population. La planification et les stratégies de suivi pour le contrôle et le bien-être des populations canines ainsi que la gestion des risques associés à leur présence nécessitent une estimation appropriée du nombre et des caractéristiques des populations de chiens errants dans les territoires (Belo et al., 2015; Shimozako et al., 2018).

Dans les pays où la majorité de la population canine est dépendante et contenue, les estimations de la taille de population de carnivores domestiques sont basées sur des enquêtes auprès des ménages pour collecter précisément des informations sur la population d'animaux de compagnie (Amaral et al., 2014). Cette stratégie a été utilisée par l'EPL Saint-Paul pour faire une estimation globale de la population de carnivores domestiques à la Réunion (EPLEFPA-CFPPA de Saint-Paul, 2018). Les foyers étaient amenés à répondre à des questions sur le nombre d'animaux qu'ils possédaient ainsi que sur leur statut vaccinal et parasitaire, leur identification, la possibilité de divagation et leur statut reproducteur. Des questions sur les animaux qu'ils pouvaient apercevoir autour de chez eux étaient aussi posées. Ces questionnaires ont permis d'avoir une estimation de la taille de la population détenue et d'en déduire celle qui était errante. Néanmoins, il est admis que lorsque les populations non restreintes sont importantes, ces méthodes ont des limites pour estimer la taille de la population errante (Meunier et al., 2019).

La méthode de capture-marquage-recapture ou CMR est couramment utilisée en écologie pour estimer la taille d'une population où le comptage de chaque individu est impossible. Cette méthode repose sur deux séries de rencontre. Ce type de procédure de comptage est adapté pour l'estimation de la taille des populations de carnivores domestiques errants mais doivent intégrer plusieurs hypothèses (Belo et al., 2015). Cette méthode de recensement suppose que la population étudiée est fermée pendant la période de comptage, ce qui nécessite que les données soient collectées sur de courtes périodes. La capture peut se faire de différente manière : un marquage de l'animal par un collier, une bague, une marque de peinture ou encore par photographie. L'identification photographique est largement utilisée dans le cas de comptage de carnivores domestiques et présente de nombreux avantages par rapport à une capture réelle car elle est facile et rapide tout en étant moins traumatisante pour l'animal. Lors de la capture des animaux, des informations sur chaque individu observé sont recensées pour caractériser la population étudiée (Cortez-Aguirre et al., 2018; Sangarun et al., 2018).

### C. Objectifs

Cette étude s'inscrit dans un projet global de l'UMR ASTRE du Cirad dont le but est de caractériser les risques sanitaires liés aux carnivores domestiques à la Réunion. Dans la continuité des travaux précédents réalisés par l'équipe, il ressort que les chiens peuvent jouer un rôle dans la dissémination des maladies infectieuses, dont certaines zoonotiques et/ou importantes pour les élevages (leptospirose, néosporose, fièvre Q, phénomène d'antibiorésistance...) (Addala, 2023; Rabaly, 2023; Roger-Callewaert, 2023). Afin d'améliorer la compréhension du rôle des carnivores et surtout des chiens dans la dissémination des maladies et de contribuer à la gestion intégrée des populations sur l'île, il est important d'étudier la dynamique spatiale de ces populations, sa répartition numérique et le fonctionnement des meutes. Ces connaissances sont d'autant plus primordiales avec le risque d'introduction de rage sur le territoire. Le but de ce travail est donc de développer des actions de recherche et des outils appropriés pour la compréhension de la circulation des animaux, de l'actualisation de la volumétrie des populations animales et leur dynamique géographique.

Ce travail est ainsi divisé en plusieurs axes d'étude dont le premier portera sur l'analyse des mouvements de chiens circulants à l'aide du géopositionnement satellitaire (GPS). Cette partie constitue une première exploration dans la méthode de collecte de données et d'analyse des domaines vitaux.

Un deuxième axe d'étude complémentaire au premier est celui de l'évaluation de la taille et de la composition des populations de carnivores domestiques dans plusieurs zones et notamment dans les secteurs où évoluent les chiens errants suivis par GPS. Une évaluation de l'abondance et de la densité selon différents milieux permet d'identifier des facteurs contribuant au développement de ces populations. Le recensement d'attracteurs pour ces animaux, tels que les sources de nourriture, l'eau ou les aires de repos, vient compléter ces données. Ces informations sont essentielles pour la planification et le suivi de l'efficacité des stratégies adoptées pour le contrôle et le bien-être de la population ainsi que la gestion des risques sanitaires associés à leur présence.

La troisième partie permet de mettre en lien l'étude de ces dynamiques de population avec le cas concret de la transmission de la néosporose dans les élevages de ruminants. Elle vient ainsi mettre en exergue l'utilité d'avoir des données de mouvements d'animaux pour comprendre le rôle épidémiologique des carnivores domestiques dans des maladies d'intérêts majeurs pour les filières.

Cette étude a été financée par le projet FEADER et la convention entre la préfecture et le Cirad sur les activités relatives à la prévention et à la surveillance des problématiques d'errance et de divagation des animaux domestiques à la Réunion (Préfecture Réunion and Cirad, 2024).

## II. MATERIEL ET METHODES

### A. Suivi par GPS des chiens errants et divagants et estimation du domaine vital

#### 1. Boitiers GPS utilisés

Afin d'opérer le suivi par GPS d'animaux errants et divagants, un premier type de boîtier GPS a été commandé en amont de la période de stage. Dix boîtiers de type Traccar ont été reçus et financés par le FEADER. Ils pèsent 100 grammes et sont dotés d'un panneau solaire pour recharger leur batterie. Les données sont ensuite recueillies sur le site web [rundog.fr](http://rundog.fr) développé par l'entreprise BetaClic spécialement pour ces dix boîtiers. Il recense les coordonnées GPS (latitude et longitude), le moment (date et heure UTC+4) de prise de position, le niveau de la batterie, la vitesse et la distance parcourue. L'intervalle entre chaque envoi de signal peut être modifié. Au cours de la deuxième moitié du stage, nous avons pu recourir à un autre type de boîtier de la marque Tracki® commandé et envoyé par l'équipe ASTRE de Madagascar. Les données acquises sont directement visibles sur le site web [tracki.com](http://tracki.com). Ces boîtiers ont l'avantage de prendre en compte les signaux GPS et les signaux Wi-Fi complétant ainsi les possibles manques de données près des habitations.

Les deux types de boîtiers ont été comparés sur des déplacements humains. En effet, ils ont été mis durant un weekend dans un sac à dos allumés à la même place pour confronter la précision des points et la longévité de la batterie sur les deux types de GPS dans des milieux différents (zone forestière, zone ouverte rurale, zone urbaine).

#### 2. Sélection des individus et collecte de données

Afin de mener cette étude, les individus sélectionnés sont des chiens errants ou divagants (Préfecture Réunion and Cirad, 2024). Ces deux types de population ont des comportements différents pouvant influencer sur leur domaine vital. Pour les chiens errants, la pose se fait conjointement à un travail de capture dans des meutes communautaires et de stérilisation. Chacune constitue un groupe de chiens errants connu par la préfecture et les associations de protection animale et qui possède un nourrisseur pouvant leur apporter de la nourriture quotidiennement.

Les boîtiers GPS sont attachés à des colliers qui sont ensuite posés sur des chiens circulants pendant une durée d'environ deux semaines (Sousa et al., 2023). L'intervalle de temps entre chaque envoi de localisation est fixé avant chaque pose en prenant en compte les données déjà obtenues auparavant, notamment la batterie et le nombre de données nécessaires pour réaliser les analyses.

#### 3. Nettoyage des données et analyses descriptives

Les données sont ensuite exportées depuis le site web en format Excel (.xlsx), importées dans R (R 4.3.2 avec RStudio/2024.04.1+748) et analysées sur le logiciel. Un nettoyage du tableau de données est fait en ne prenant en compte que les observations affichées comme valides. En effet, une colonne « Valid » est présente dans le tableau de collecte et lorsque celle-ci affiche « False », cela correspond à un envoi de position qui n'a pas pu être effectué correctement du fait d'un nombre de satellites accessibles inférieur à 4 (Tracki, 2024). De plus, les données avec une vitesse maximale dans la colonne

« Speed » de 25 km/h sont supprimées du tableau final. Une exportation en fichier format CSV (.csv) est ensuite réalisée par le biais du logiciel R pour pouvoir reporter les points GPS sur le logiciel QGIS.

Une analyse descriptive des données obtenues est effectuée dans un premier temps pour avoir le nombre d'observations par jours, le nombre d'observations selon les horaires de la journée, la distribution des intervalles de temps réels entre chaque observation valide, l'utilisation de la batterie durant la période. Ces résultats permettent ainsi d'ajuster le protocole de collecte lors d'une pose ultérieure.

#### 4. Analyses spatiales

Dans un premier temps la distance totale parcourue par l'individu est calculée ainsi que l'analyse des trajets en fonction des horaires de la journée. Conjointement sur QGIS, l'observation des points GPS sur une carte permet de se rendre compte de la zone explorée par l'animal et une discrimination en fonction des périodes de la journée est réalisée pour essayer de mettre en évidence un lien entre période journalière et activité de l'animal (Griss et al., 2021).

Pour l'obtention d'un domaine vital, le calcul d'un Minimum Convex Polygon (MCP) est effectué en premier lieu. Il donne la zone minimale englobant tous les points GPS tout en excluant les valeurs aberrantes les plus éloignées du centroïde, à savoir 5% des points les plus éloignés. C'est une méthode qui donne une grande taille de domaine vital et qui est plus sensible aux valeurs extrêmes (Dürr and Ward, 2014). Elle est calculée à l'aide de la fonction *mcp* du package *adehabitatHR* sur R.

Afin de préciser les différentes parties du domaine vital en mettant en évidence les zones où l'animal est le plus présent, la méthode d'estimation par noyau ou Location based kernel density distribution (LKDE) est également effectuée. Ce calcul permet de fournir une répartition d'utilisation et discrimine les zones où l'animal passe le plus de temps de celles qui sont plus marginales. Elle corrige davantage les valeurs aberrantes individuelles et permet de comprendre les zones où l'on a le plus de probabilité d'observer l'animal. Le calcul d'isoplèthes, à savoir les lignes joignant les valeurs égales, est effectué pour les valeurs 50%, 70%, 85% et 95%, permettant d'avoir la surface minimale de la probabilité de retrouver l'animal dans cette zone. Ainsi, lorsqu'on se place dans la zone entourée par l'isoplèthe 50%, on a 50% de chances d'observer l'animal à cet endroit. Pour effectuer cette analyse spatiale, la fonction *kernelUD* du package *adehabitatHR* est utilisée sur une matrice recensant toutes les localisations converties en *SpatialPoints* avec un facteur de lissage *h* de référence *href*. Ensuite, les isoplèthes sont obtenus à l'aide de la fonction *getverticeshr* pour chaque valeur (Dürr and Ward, 2014).

Pour chaque type d'analyse spatiale, l'objet final est enregistré sous format .shp pour être lu sur le logiciel SIG QGIS au moyen des fonctions *st\_write* et *st\_as\_sf* du package *sf*. Le passage à QGIS permet de réaliser des productions cartographiques des analyses spatiales avec un fond de carte facilitant l'étude du domaine vital. Les aires de chaque « home range » est calculé et affiché sur les zones.

#### B. Protocole d'estimation de la taille de population de carnivores domestiques dans différents secteurs et points d'intérêts épidémiologiques

Le deuxième objectif du projet vient compléter les données obtenues avec les GPS afin de comprendre davantage les dynamiques de populations des carnivores domestiques circulants (Préfecture Réunion and Cirad, 2024). Elle permet également d'estimer les contacts entre animaux circulants afin d'appréhender les risques infectieux associés dans différentes zones.

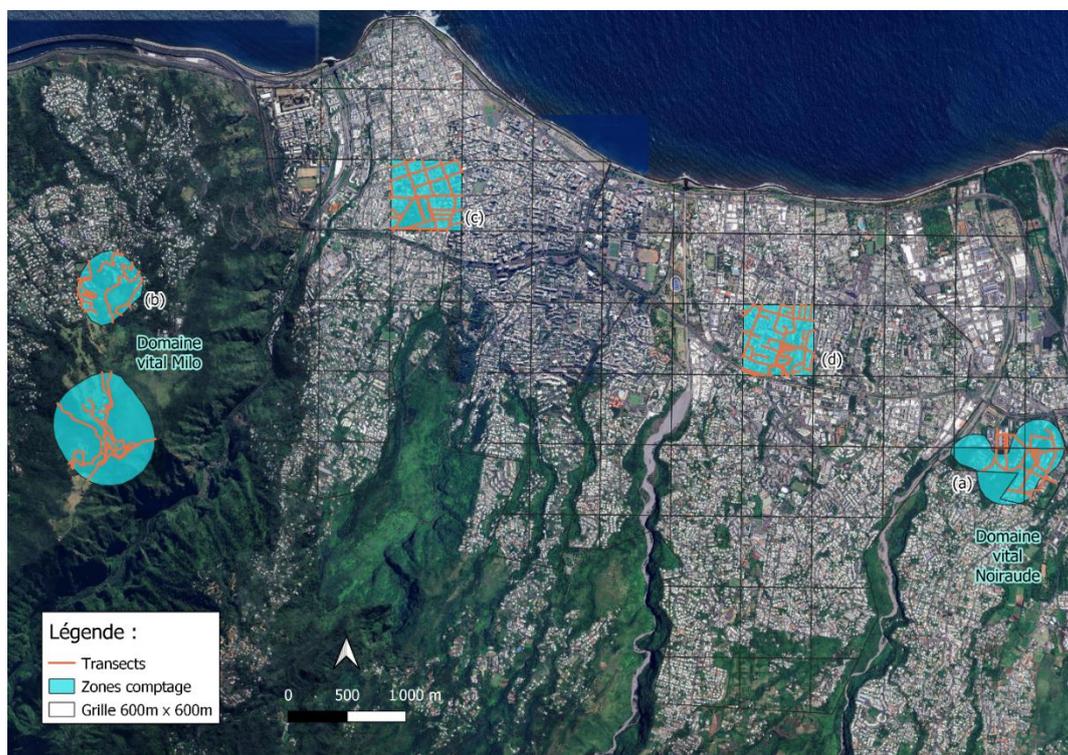
## 1. Sélection des zones de comptage

Dans un premier temps, certains secteurs de comptage sont ajustés sur les domaines vitaux des chiens errants déterminés en amont par l'analyse des positions GPS. Cette première méthode permet de croiser les données de densité et de circulation des chiens errants connus. Cela nous donne une idée des contacts possibles. Par ailleurs, des comptages sont réalisés sans étude GPS préalable en zone urbaine nous permettant d'accéder à des données sur la densité dans des zones avec des paysages différents et d'estimer de manière plus générale les risques infectieux liés aux carnivores circulants dans les différentes zones sélectionnées.

Chaque zone de comptage était faite pour avoir une aire d'environ 0.3 km<sup>2</sup> permettant de parcourir à pied avec un seul compteur dans un temps correct. Par exemple, pour le milieu urbain à Saint Denis, nous avons réalisé un quadrillage à l'aide du logiciel QGIS permettant de prendre aléatoirement deux autres zones de 0.3km<sup>2</sup> hors étude GPS.

Au total et au vu des contraintes de temps et de moyen, cinq zones ont été parcourues (quatre à Saint Denis et ses alentours et une en milieu rural à la Plaine des Cafres) (Figure 1).

Après avoir déterminés les zones d'études, les rues parcourues sont celles qui sont identifiées comme ayant une intersection avec le domaine vital caractérisé avec les données GPS ou avec les zones sélectionnées aléatoirement. Pour des raisons logistiques, les transects sont placés le long des rues et des chemins praticables à pied. Les animaux se trouvant dans des milieux non praticables à pied ou non publics (milieux forestiers sans accès, résidences fermées, etc.) ne sont donc pas comptabilisés (Hiby and Hiby, 2017).



*Figure 1 : Zones de comptage à Saint Denis avec les transects déterminés avant les sessions de comptage. Réalisées selon les domaines vitaux obtenus à partir des données GPS : (a) et (b) et réalisées sans données GPS préalables : (c) et (d).*

## 2. Méthode de collecte de données

La densité des carnivores domestiques dans les zones d'étude est estimée en utilisant la méthode de capture et recapture photographique employée dans de nombreuses études (Beck, 1973; Tenzin et al., 2015; Cortez-Aguirre et al., 2018; Sangarun et al., 2018; Gill et al., 2022). Le parcours est fait à pied dans les rues par un balayage de toutes les rues à deux périodes de la journée, le matin entre 8h et 11h et le soir entre 16h30 et 18h, sur deux jours successifs (Cortez-Aguirre et al., 2018). Lors de l'échantillonnage des rues, chaque animal vu à une distance correcte de 10 mètres est considéré dans le comptage. Pour chaque animal « capturé », un formulaire renseignant le type de carnivore domestique (chien, chat), son statut de circulation, le point GPS où il a été vu est complété. Sa note d'état corporel et les problèmes de santé apparents sont également renseignés, notamment si des anomalies dermatologiques, respiratoires (écoulement nasaux, toux, etc.), oculaires ou encore des boiteries sont décelables (Cortez-Aguirre et al., 2018; Gill et al., 2022). Une seule et même personne réalise ainsi les deux sessions d'observation afin de limiter les biais. Ce formulaire est établi sur KoboToolBox et est rempli sur le terrain à l'aide de l'appli KoboCollect disponible sur smartphone Android (ANNEXE 1).

## 3. Analyses des données

Un tableau sous format CSV est exporté à partir du formulaire KoboToolBox. Une analyse des photos permet de compléter une nouvelle colonne appelée RECAPT\_GLOB et ainsi notifier si l'animal vu a déjà été observé lors d'une première session de comptage. Les observations ne comprenant ni photo, ni commentaire indiquant que l'animal avait déjà été vu auparavant sont considérées comme nouvelles. Ce sont en général des animaux promenés par des propriétaires et donc plus difficiles à prendre en photo.

Un script R permettant de compter chaque variable intéressante pour chaque comptage a été écrit et est adapté pour des comptages ultérieurs si nécessaire. Une analyse descriptive des données (nombre de chien ou chat selon les périodes de la journée, nombre selon le statut de circulation, etc.) est effectuée pour avoir une première comparaison selon les zones. Pour analyser les statuts de santé, une Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM) est réalisée à l'aide du package *Factoshiny* sur R sur un tableau de donnée comprenant les variables qualitatives « espèce », « sexe » et « âge » et sur les variables quantitatives « note d'état corporel » et « santé » (déclinée en santé dermatologique, respiratoire, oculaire, boiterie et autre). La variable « statut de circulation » est ajoutée en tant que variable supplémentaire. Cette analyse de covariance nous permet ainsi d'obtenir une vue d'ensemble des relations entre les individus et les variables de santé de notre formulaire par une évaluation de distance sur des dimensions déterminées par R. Elle est complétée par une classification ascendante hiérarchique afin d'affiner ces résultats.

De plus, le nombre d'observations par zone ainsi que le nombre de recapture sont utiles pour faire une estimation de l'abondance de carnivores domestiques dans la zone avec l'estimation de Chapman.

$$N = \left[ \frac{(n1 + 1)(n2 + 1)}{m + 1} - 1 \right]$$
$$var(N) = \left[ \frac{(n1 + 1)(n2 + 1)(n1 - m)(n2 - m)}{(m + 1)^2(m + 2)} \right]$$
$$95\% \text{ confidence interval (CI)} = N \pm 1.965\sqrt{var(N)}$$

Avec :

N l'estimation de la taille totale de la population

n1 le nombre total de chiens marqués le jour 1

n2 le nombre total de chiens observés le jour 2

m le nombre de chiens marqués réobservés le jour 2

Le calcul de la variance à l'aide de la formule de Seber permet d'estimer un intervalle de confiance à 95% (Amaral et al., 2014; Meunier et al., 2019; Gill et al., 2022). Ce calcul a été fait avec un nombre d'observation total pour chaque jour de comptage, sans prendre en compte les différentes sessions sur un jour.

Afin de prendre en compte les quatre sessions d'observation pour chaque zone, on a recours au package sur R nommé *Rcapture* et sa fonction *closedp* permettant de calculer une densité dans une population qui est considérée comme fermée. Pour cela, les observations sont notées dans une matrice par des 1 pour chaque session d'observation et pour chaque individu et des 0 sinon, permettant de mettre en évidence les recaptures. Les modèles proposés incluent des hypothèses sur le comportement des animaux pour affiner l'estimation.

#### 4. Lien avec les points d'intérêts épidémiologiques

Lors d'une session d'observation sur chaque zone, le recensement des points d'intérêts épidémiologiques (poubelles, présence d'eau, de nourriture, déchetteries, etc.) considérés comme attracteurs pour des populations de carnivores est effectué. Il est ensuite transféré sur QGIS pour évaluer la répartition de ces points d'intérêts et leur possible lien avec la circulation de chiens et chats dans les zones.

### C. Etude de cas : lien entre dynamique de population canine et néosporose dans les élevages à la Plaine des Cafres

Cette étude fait coïncider deux projets conjoints : la dynamique de population des carnivores domestiques et des risques sanitaires reliés à La Réunion d'une part, et les problématiques d'avortement en élevage et lien avec les carnivores domestiques à la Réunion d'autre part mené par Oriane Carriot, qui sont inscrits dans un projet plus global appelé « d'Epidémiosurveillance des maladies infectieuses affectant les filières animales à la Réunion » (RITA Animal) financé par le FEADER.

#### 1. Zone d'étude

La zone étudiée est déterminée à partir des résultats de la prophylaxie 2023 et des recensements d'avortement donnés par Groupement de Défense Sanitaire (GDS). Après analyse de la localisation des élevages positifs à la néosporose, nous avons pu délimiter une zone à la Plaine des Cafres (Le Tampon), secteur où la concentration d'élevages est la plus importante et donc d'élevages positifs également. Plusieurs sessions de rencontres des éleveurs et des particuliers, notamment dans la zone de la Grande Ferme, se sont déroulées au cours des mois de stage (Figure 2).

#### 2. Etude de la population canine et de sa circulation à la Plaine des Cafres

L'objectif étant d'établir un lien épidémiologique entre carnivores domestiques et transmission de la néosporose en élevage, une étude de la population canine et de sa circulation dans le secteur de la Grande Ferme a été effectuée à l'aide de plusieurs mediums.

##### a. Questionnaires sur la population canine

Tout d'abord, un questionnaire visant les éleveurs et les propriétaires de chiens au voisinage des élevages a été conçu afin de mettre en exergue la composition et la taille de la population dans le secteur. Des questions sur le nombre, la circulation de leurs animaux ainsi que sur la population aperçue autour de leur logement sont posées.

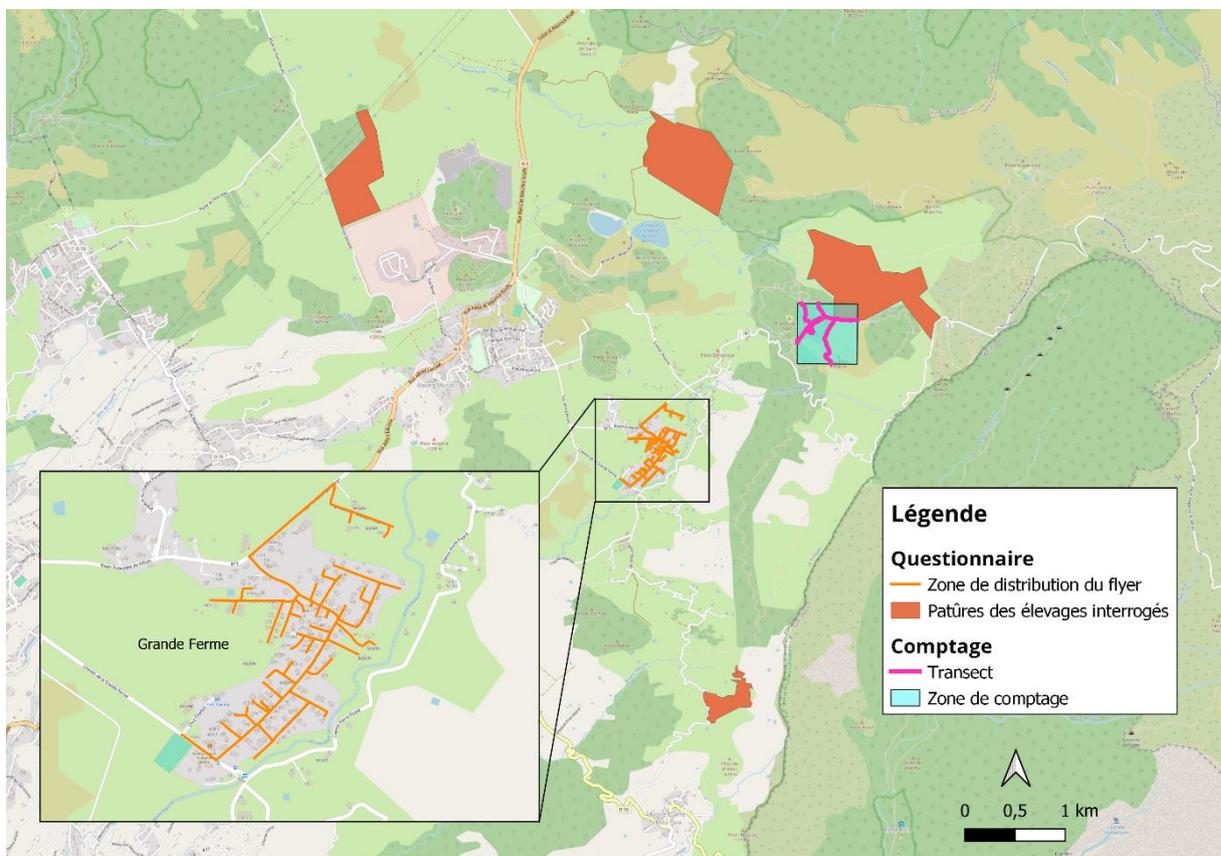
Le questionnaire a été élaboré sur l'application en ligne Kobotoolbox et décliné en deux versions. La première a été complétée au cours de sessions de porte à porte par des entretiens à l'oral. Quant à la deuxième, elle est destinée à une utilisation en autonomie par les participants et est donc moins chronophage pour l'enquêteur. L'accès se fait par le biais d'un QR code renvoyant sur le lien du formulaire KoboToolBox, sur un flyer distribué dans les boîtes aux lettres des habitants de la zone (ANNEXE 2 et 3). Cela permet ainsi d'augmenter l'échantillonnage et de donner accès au questionnaire à des personnes non présentes chez elles lors des sessions de sondage.

### **b. Comptage sur une zone de la Plaine des Cafres**

Dans la continuité des transects parcourus dans la ville de Saint Denis (partie B.), un comptage a été fait à la Plaine des Cafres. La zone a été définie en délimitant des tampons autour des pâtures des élevages interrogés pour relier le comptage avec l'étude de cas sur la néosporose. Une zone au sud d'un élevage a été sélectionnée aléatoirement (Figure 2).

### **c. Pose de GPS sur chiens divagants du secteur**

Pour enrichir les données sur la population canine du secteur, des colliers GPS sont installés sur les chiens divagants de la région, en suivant le même protocole que celui décrit dans la partie II.A. du rapport. Lors des sessions de porte-à-porte, un questionnaire est réalisé. Si le chien du propriétaire est régulièrement autorisé à sortir de l'enceinte du logement, une proposition d'installation d'un collier GPS est faite. Le collier est ensuite posé et laissé pendant environ deux semaines pour évaluer la zone de déplacement de l'animal. Les mêmes analyses spatiales que celles décrites dans la partie II.A. sont effectuées.



*Figure 2 : Zone d'étude à la Plaine des Cafres*

### 3. Prélèvements sanguins et analyses sérologiques de *Neospora caninum*

Cette partie est effectuée en collaboration avec Oriane Carriot dans le cadre de son stage intitulé « Avortements en élevage bovin sur l'île de la Réunion : mise en place d'une enquête exploratoire sur la néosporose et étude de séroprévalence sur la fièvre Q » financé par le FEADER. Ce travail comprend une étude de la néosporose chez les bovins et le rôle du chien domestique dans l'épidémiologie de la maladie. Après réalisation du questionnaire, une demande de prélèvement sanguin sur un ou plusieurs chiens du propriétaire est formulée. Après signature du consentement éclairé du propriétaire, du sang est prélevé sur la veine céphalique ou la saphène externe dans un tube EDTA. Les prélèvements sanguins sont ensuite analysés par test ELISA Idvet (ID Screen® *Neospora caninum* Competition).

### 4. Autorisations et fiches explicatives

Des autorisations pour les prélèvements et la pose des colliers GPS pour les éleveurs et le voisinage des élevages ont été réalisées pour obtenir le consentement éclairé des propriétaires des animaux rentrant dans l'étude (ANNEXE 4).

De plus, une fiche explicative destinée aux propriétaires a également été conçue pour résumer les objectifs des deux études conjointes ainsi que les données qui sont nécessaires pour l'étude (ANNEXE 5). Cette production permet ainsi d'avoir un support graphique explicatif lors des enquêtes.

## III. RESULTATS

### A. Suivi par GPS des chiens errants et divagants et estimation du domaine vital

#### 1. Comparaison des deux boîtiers GPS (Traccar et Tracki)

##### a. Précision des données et validité

Les deux types de GPS ont été emmenés dans le même sac pendant deux jours, permettant de les tester dans des milieux urbains, ruraux fermés (forêt) ou davantage ouverts. Nous pouvons voir que sur un trajet réalisé en deux jours. Une rapide observation des cartes disponibles sur les sites respectifs des deux types de GPS nous permet de nous rendre compte de la grande différence d'envoi de données avec une absence totale de signaux au deuxième jour d'observation pour le GPS Traccar bien qu'il était encore en ligne et chargé (Figure 3).

Avec le GPS Traccar, nous observons une grande perte de données malgré un envoi de signal programmé toutes les 10 minutes. Entre le 27/04/24 à 00h00 et le 28/04/24 à 23h59, un total de 565 observations sont présentes dans le fichier de données exporté à partir du site rundog.fr. Une colonne « Valid » indique si les points sont valides ou non, c'est-à-dire si le signal reçu par le GPS est considéré comme assez précis pour être valide ou non (par manque de satellites ou de réseau par exemple). Pour toutes les collectes de données réalisées avec ce type de boîtier, environ considérés non valides car le nombre de satellites est égal à 0. Après suppression des points non valides, seules 44 données sont restantes. D'autre part, un autre nettoyage a été effectué consistant à enlever les doublons, basé sur les observations qui ont la même date et la même heure d'enregistrement. Après cette sélection, le tableau de données comprend uniquement 17 observations distinctes.

Pour le GPS tracki, 132 observations sont comptabilisées et aucun nettoyage de données n'est à réaliser.

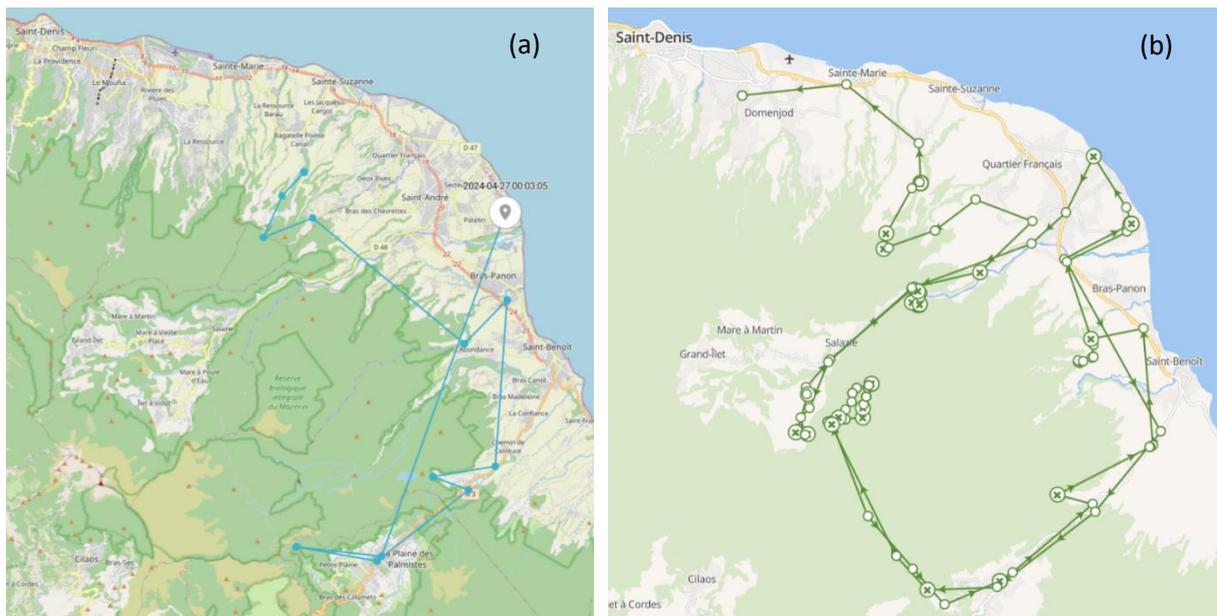


Figure 3 : Comparaison des tracés donnés par les deux boîtiers GPS sur deux jours d'observation. (a) : Traccar. (b) : Tracki®

### b. Durée de vie de la batterie

Pour une acquisition programmée toutes les 10 à 15 minutes, la batterie du GPS Tracki se vide beaucoup plus rapidement que le GPS Traccar, avec une perte de 1% toutes les 0,48 heures en moyenne pour le Tracki et toutes les 4,36 heures pour le Traccar (Figure 4). Malgré le panneau solaire présent sur les boîtiers de type Traccar, on se rend compte que la batterie ne se recharge pas par ce moyen lors de la pause sur les animaux.

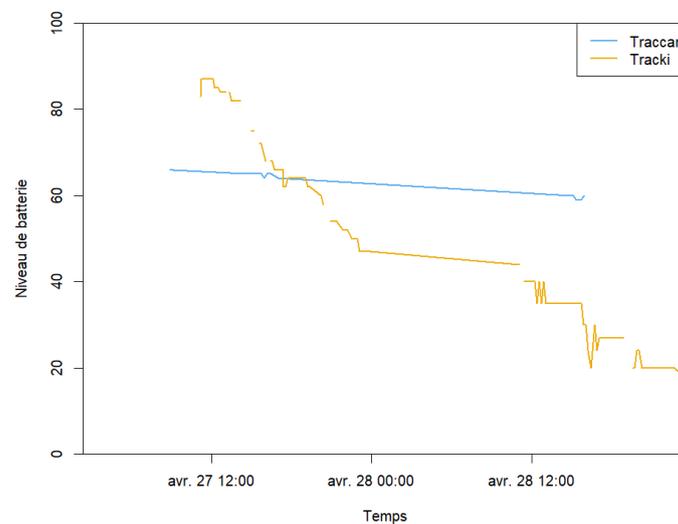


Figure 4 : Durée de vie de la batterie selon le type de boîtier GPS

## 2. Description des individus étudiés

Au total, cinq GPS ont été posés dont quatre pendant la période de stage. Trois boîtiers GPS Traccar ont été mis en place sur des chiens errants appartenant à des meutes communautaires et deux sur des chiens divagants. Un boîtier Tracki a pu être posé sur un chien divagant en fin de stage. Les caractéristiques de chaque chien sont décrites dans le Tableau 1. Les colliers GPS mis sur les chiens Milo et Wappy peuvent être vus dans la Figure 5.

Nom	Sexe	Âge	Statut circulation	Lieu	Type de paysage	Type de boitier	Date de début de collecte	Date de fin de collecte	Cause de fin de collecte	Temps défini entre chaque envoi de position (min)
Noiraude	F	Adulte	MC	Technopole	Urbain	Traccar	16/12/23	02/01/24	Batterie vide	5
Milo	M	Jeune	MC	Colorado	Rural	Traccar	08/02/24	25/02/24	Perte collier	60
Wappy	M	Adulte	DIV	Plaine des Cafres	Rural	Traccar	11/04/24	25/04/24	Récupération collier	15
Evie	F	Adulte	DIV	Plaine des Cafres	Rural	Tracki	29/04/24	02/05/24	Batterie vide	10
Adelaide	F	Adulte	MC	La Montagne	Urbain	Traccar	01/06/24	12/06/24	Batterie vide	10

*Tableau 1 : Récapitulatif des individus suivis par GPS.  
F : Femelle. M : Mâle. MC : Meute communautaire. DIV : Divagant.*



*Figure 5 : Colliers GPS avec boitier Traccar posés sur deux chiens (Milo à gauche et Wappy à droite)*

### 3. Ajustement du protocole

Le temps défini entre chaque envoi de position a été modifié au cours du stage et adapté aux attentes en termes d'analyse. Pour économiser la batterie par rapport à l'acquisition faite sur Noiraude, le temps entre chaque envoi de position pour Milo a été augmenté à 1h. Cependant, après les observations faites sur ce chien, le nombre de données finales demeurait faible en raison de la non-validité des données. L'analyse de la durée de vie de la batterie montre qu'une acquisition faite toutes les 5 minutes entraîne une perte de 1% toutes les 5 heures, tandis que pour Milo, cette perte est de 1% toutes les 6 heures et 49 minutes. Par conséquent, un compromis a été fait pour les collectes de données ultérieures, avec un intervalle fixé à 10 ou 15 minutes selon la possibilité du GPS. Pour Evie, le boitier s'est déchargé très vite et aucune recharge n'a été faite lors des deux semaines de pose. Par conséquent, seuls deux jours de collecte de données ont été réalisés.

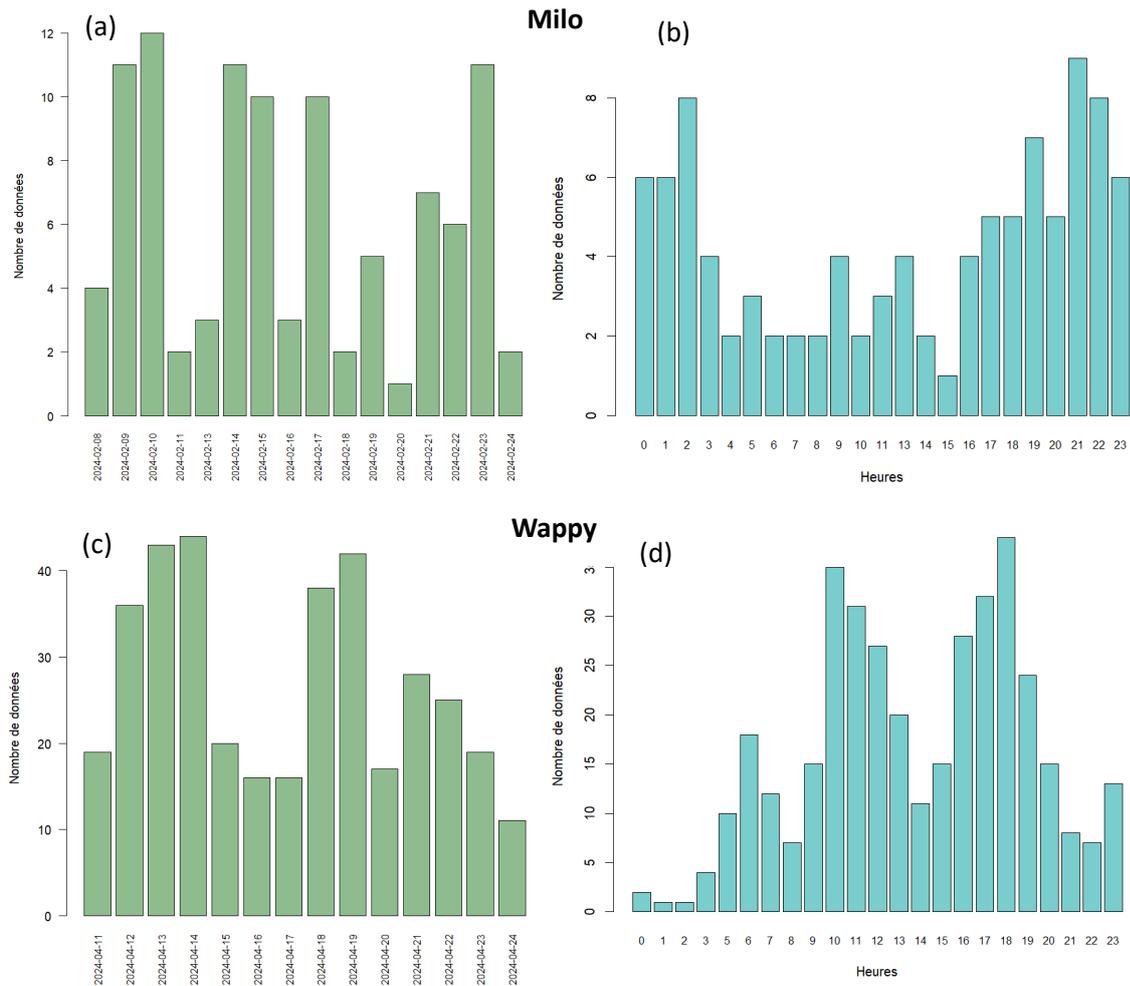
### 4. Analyses descriptives

Malgré les pertes de données dû au matériel, les positions GPS au cours du temps ont pu être récupérées pour tous les chiens. En ce qui concerne les chiens errants appartenant à une meute communautaire (Noiraude, Milo et Adelaide), les colliers n'ont pas pu être récupérés.

Pour chaque individu, un nettoyage de données puis l'analyse des positions GPS est effectué. Une première analyse sur R permet d'avoir un aperçu du nombre de données valides et de leur répartition le long de la période d'acquisition et selon les périodes de la journée. Si l'on prend l'exemple de Milo,

on peut voir que le nombre de données valides par jour est très variable d'un jour à l'autre, allant d'un maximum de 12 données à seulement une donnée le 20/02/24 (Figure 6.a.). En outre, on remarque une perte de données valides plus importante entre 6h et 15h, avec notamment une absence de données pour l'heure du midi sur les 16 jours d'observations (Figure 6.b.) Ces variabilités entre les jours et entre les horaires se retrouvent pour chaque animal suivi avec un Traccar.

Pour Wappy, qui est un chien divagant, on retrouve une grande variabilité selon les jours mais l'intervalle de temps entre les envois de position étant plus faible, le nombre maximal d'observations en un jour est triplé par rapport à Milo (Figure 6.c.) La perte de données selon les horaires de la journée est davantage marquée entre 20h et 8h (Figure 6.d.)

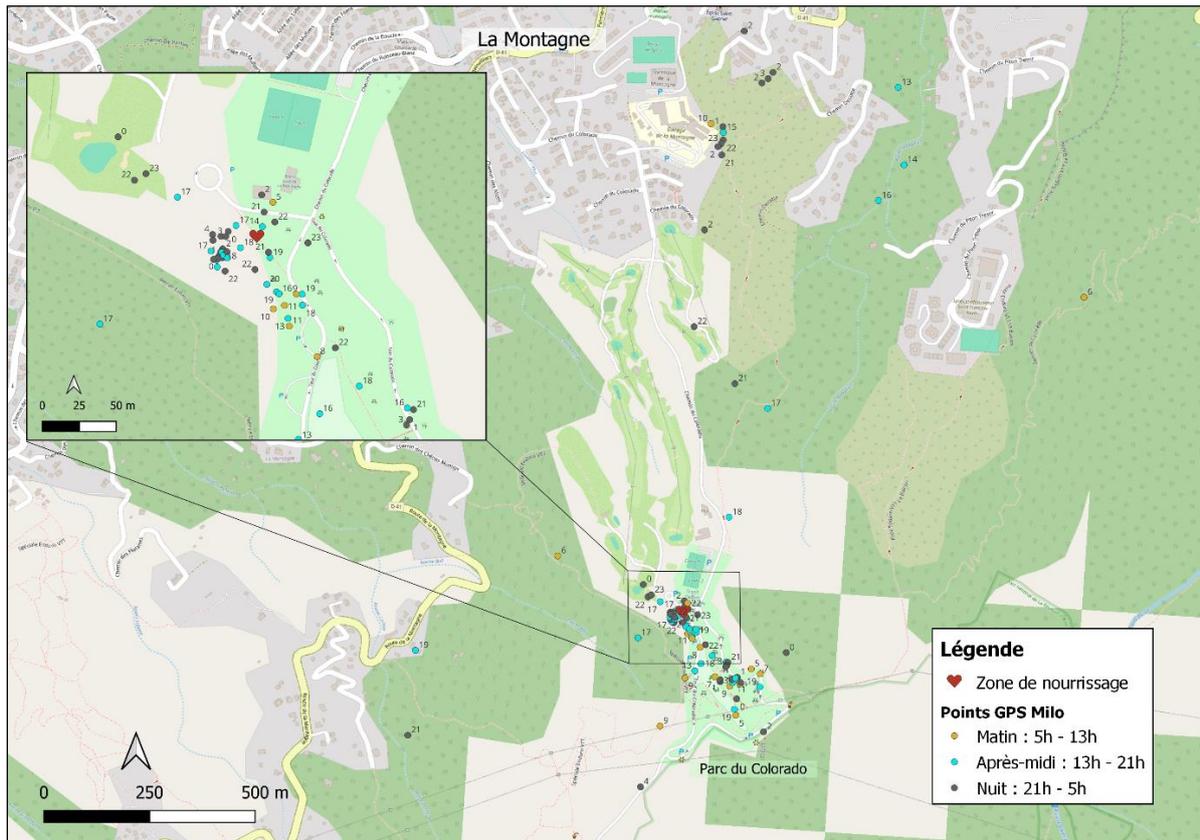


**Figure 6 :** Nombre de données selon les jours d'observation (à droite en vert) et selon les horaires de la journée (en bleu à droite). Observations pour Milo (en haut : (a) et (b)), chien errant de la meute communautaire du Colorado et pour Wappy (en bas : (c) et (d)), chien divagant de la Plaine des Cafres.

Sur les observations réalisées pendant 16 jours, on peut voir que la somme des vitesses observées montre des déplacements plus importants pendant la nuit. De même, si l'on réalise la médiane des vitesses observées chaque heure, on peut voir que la médiane à 6h est de 3km/h.

## 5. Analyses spatiales et domaines vitaux

Une première observation des positions GPS est faite sur QGIS pour se rendre compte de la répartition des observations spatialement. Une classification par période de la journée (matin, après-midi et nuit) est effectuée pour visualiser les potentielles zones de repos de l'animal. Si l'on reprend l'exemple de Milo, on observe qu'il est resté globalement autour de son point de nourrissage dans le parc du Colorado pendant les 16 jours d'observation mais qu'il est aussi descendu vers le quartier résidentiel de la Montagne. Ces déplacements et ces mouvements se sont fait globalement dans des zones assez végétalisées. Peu de différences entre les périodes de la journée sont à noter, avec une légère prédominance des déplacements pendant la nuit ou en fin de journée (Figure 7).



*Figure 7 : Analyse par période de la journée sur QGIS des positions GPS de Milo, chien appartenant à la meute communautaire du Parc du Colorado à La Montagne (Saint Denis).*

Pour évaluer le domaine vital de chaque individu, on calcule un Minimum Convex Polygon (MCP) ainsi qu'une estimation par noyau (LKDE) avec des isoplèthes à 50%, 70%, 85% et 95%.

En reprenant l'exemple de Milo, on remarque tout d'abord que le domaine vital dans ce paysage pour cet individu est assez étendu. Cependant, le cœur de son domaine vital, là où se trouvent la majorité des points dans la zone de l'isoplèthe 50%, est restreint. C'est le cas pour tous les individus suivis, dont l'aire centrale est inférieure à 1km<sup>2</sup>. Chez Milo, on observe également deux zones de domaines vitaux, une autour de la zone de nourrissage dans le parc du Colorado et une plus au nord autour du collège de la Montagne (Figure 8).

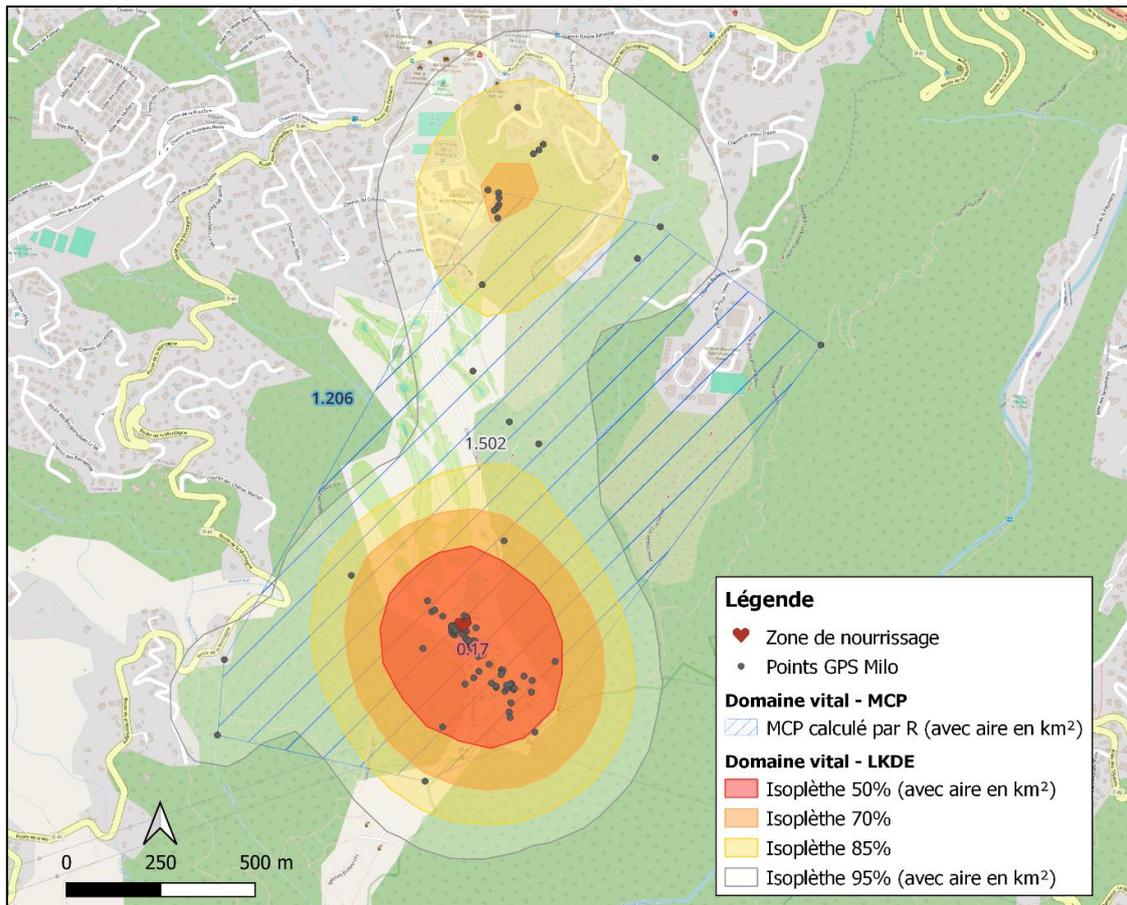


Figure 8 : Domaine vital de Milo, chien errant de la meute communautaire du Parc du Colorado.  
MCP : Minimum Convex Polygon. LKDE : Location based kernel density distribution

Les valeurs des aires pour chaque individu suivi sont décrites dans un tableau récapitulatif (Tableau 2). On peut voir que Wappy a la plus grande aire de répartition et Evie la plus petite.

Nom	Nb. donn. Totales	Nb. donn. Valides	Nb. donn. Finales	Perte 1% batterie	Distance totale parcourue (km)	Aire MCP (km <sup>2</sup> )	Aire Kernel 50 (km <sup>2</sup> )	Aire Kernel 70 (km <sup>2</sup> )	Aire Kernel 85 (km <sup>2</sup> )	Aire Kernel 95 (km <sup>2</sup> )
Noiraude	3639	1124	330	05h00	18.3	0.23	0.05	0.10	0,19	0.36
Milo	3235	1158	100	06h49	22	1.21	0.17	0.36	0,76	1.50
Wappy	2803	2072	374	04h03	151.6	12.95	0.70	1.81	5,42	11.09
Evie	123	123	98	00h23	1.7	0.003	0.008	0.02	0.037	0.064
Adelaide	1228	325	40	02h57	15.2	1.94	0.86	1.69	3.08	5.12

Tableau 2 : Récapitulatif de la collecte de données GPS et des domaines vitaux pour chaque individu étudié.

## B. Estimation de la taille de population de carnivores domestiques dans différents secteurs et points d'intérêts épidémiologiques

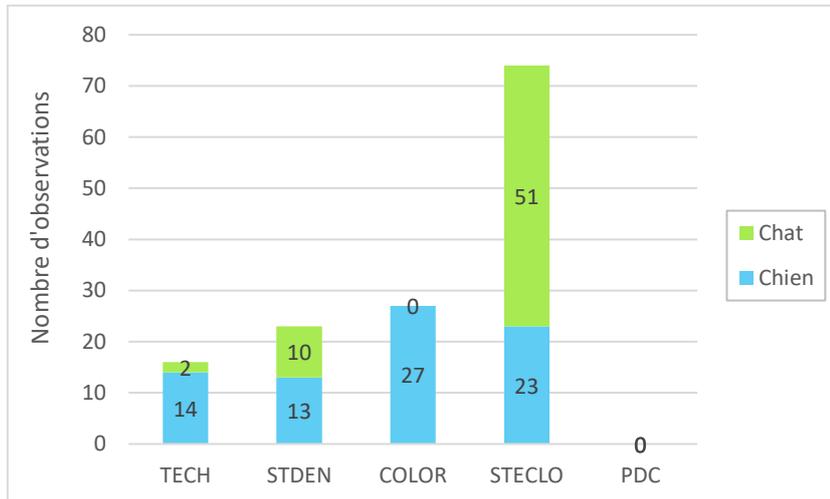
### 1. Analyses descriptives des individus observés par zones

#### a. Nombre d'observations collectées

Cinq secteurs ont été parcourus, chacun sur deux jours consécutifs, pour un ensemble de 20 sessions de comptages qui dureraient environ une à deux heures et demi. En somme, 144

enregistrements ont été renseignés après le retrait de dix relevés qui avaient été effectués en dehors des périmètres prédéfinis.

Le nombre d'entrées entre les zones est très variable, allant d'aucune observation pour le secteur à la Plaine des Cafres à 74 observations pour la zone de Sainte Clotilde. De même, l'espèce majoritaire observée selon les zones diffère, avec une majorité de chat à Sainte Clotilde alors que seuls des chiens ont été vus dans le parc du Colorado (Figure 9).

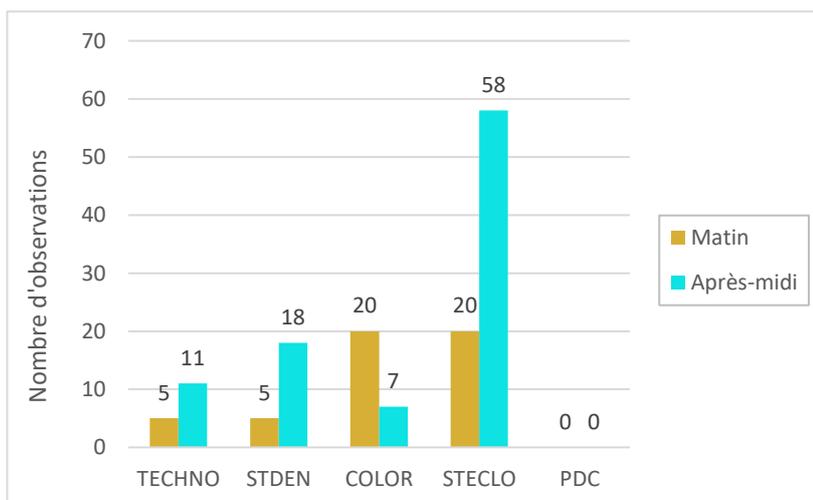


**Figure 9** : Nombre d'observations de chiens et de chats en fonction des secteurs.

TECH : Technopole, STDEN : Saint-Denis centre, COLOR : Parc du Colorado, STECLO : Sainte Clotilde, PDC : Plaine des Cafres – Aire de Piton Sec.

Sur tous les comptages, on retrouve 28.6% de chien mâle, 41,6% de femelle et 29.9% dont le sexe n'a pas pu être déterminé. Pour les chats, la majorité des sexes n'a pas pu être objectivé avec 59.7% des individus, le reste se partageant entre mâle et femelle.

On observe également une disparité du nombre d'observations selon les périodes de la journée. Pour les trois zones considérées comme urbaines (Technopole, Sainte-Clotilde, Saint-Denis), on remarque que davantage de relevés se font durant les sessions de fin d'après-midi (Figure 10).

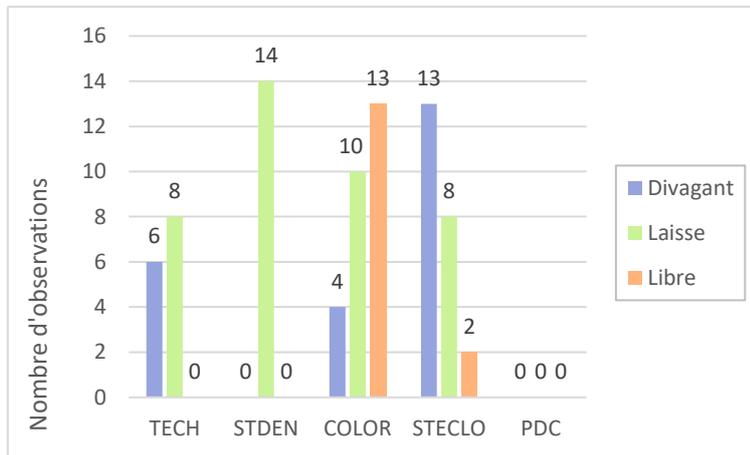


**Figure 10** : Nombre d'observations pour chaque zone selon les périodes de comptage (matin ou après-midi) .

TECH : Technopole, STDEN : Saint-Denis centre, COLOR : Parc du Colorado, STECLO : Sainte Clotilde, PDC : Plaine des Cafres – Aire de Piton Sec.

### b. Statut de circulation

Lors des comptages, la distinction entre un animal divagant (seul, sans maître identifiable autour), en laisse ou encore libre (en balade libre mais avec un maître identifiable à proximité). Sachant que tous les chats observés sont considérés comme divagants, nous nous intéresserons ici surtout au statut des canidés. Une grande disparité entre les zones est encore à notifier. En effet, dans le centre de Saint Denis, aucun chien errant ou divagant n'a été observé, alors qu'ils sont plus nombreux dans les secteurs Technopole et Sainte Clotilde (Figure 11).

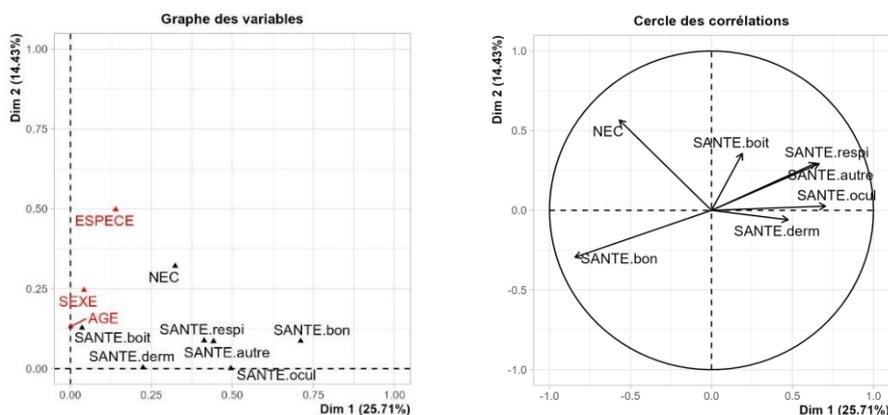


**Figure 11** : Statut de circulation des chiens selon les zones de comptage. TECH : Technopole, STDEN : Saint-Denis centre, COLOR : Parc du Colorado, STECLO : Sainte Clotilde, PDC : Plaine des Cafres – Aire de Piton Sec.

### c. Statut de santé

A chaque observation, la note d'état corporel ainsi que la présence de problèmes de santé visibles sans examen clinique (lésion dermatologique, problème respiratoire, oculaire, ou boiterie) étaient indiquées. La moyenne de la note d'état corporel de notre échantillon est à 2.83 et atteint 2.51 lorsque l'on considère seulement les divagants. Treize individus distincts ont été aperçus avec un état de santé dégradé.

L'AFDM montre que deux dimensions expliquent 40% des données. La première (Dim 1) correspond à l'état de santé, avec la partie droite correspondant aux problèmes de santé et la partie gauche à un bon état. La deuxième est davantage expliquée par la note d'état corporel ainsi que la variable qualitative espèce (Figure 12).



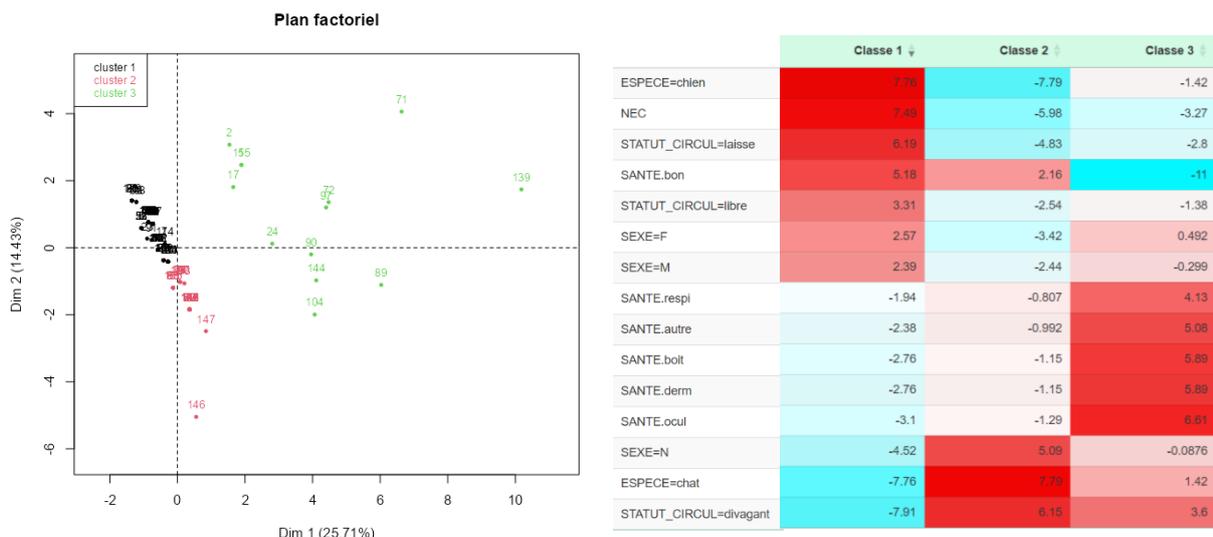
**Figure 12** : Analyse Factorielle des Données mixtes réalisée sur le tableau de données de comptage pour toutes les zones confondues.

Pour affiner ces résultats, une classification ascendante hiérarchique (CAH) est effectuée en prenant en compte nos deux dimensions. Trois classes sont établies permettant de regrouper les observations et d'associer des variables explicatives à ces groupes.

Un premier groupe comprend les chiens avec une NEC élevée et un bon état de santé. Ils comprennent la majorité des individus. Ce sont des chiens dont le statut de circulation est soit en laisse soit libre donc avec un propriétaire. Mâle et femelle sont présents dans ce groupe.

Le deuxième groupe est celui des chats, qui sont tous divagants, mais dont le statut de santé est bon. Le sexe est majoritairement inconnu pour ce groupe.

Le troisième cluster est plus varié, avec une distance entre points plus grande, et contient les individus avec les problèmes de santé qui ont davantage un statut divagant (Figure 13).



**Figure 13 :** Classification ascendante hiérarchique des données sur la santé et sur les caractéristiques des observations sur tous les comptages confondus

## 2. Estimation de la taille de population

### a. Estimation de Chapman

Après avoir comparé toutes les photos, les recaptures sont notées et le calcul d'estimation de taille de population pour chaque secteur peut être effectuée. Pour ce calcul, les données des deux sessions journalières sont confondues. Nous prenons donc en compte le nombre total d'observations et de recaptures du jour 1 et du jour 2 pour chaque zone.

On observe que la densité animale toutes espèces confondues à Sainte Clotilde est 1.5 fois plus importante qu'à la technopole, 2 fois plus qu'au Parc du Colorado et 3.6 fois plus que dans le centre de Saint Denis. Cependant, la variance dans certaines zones est très grande, entraînant des intervalles de confiance larges. A contrario, la variance pour les chiens divagants est nulle, ne permettant pas de calculer un intervalle de confiance. On voit ainsi que pour la densité totale d'animaux dans les différentes zones, les intervalles de confiance se recoupent. Selon les zones, on remarque une densité plus importante de chat, comme à Sainte Clotilde, alors qu'ils ne sont pas du tout présents au Colorado. Enfin, l'errance visible représentée par l'abondance et la densité de divagants dans un territoire est très marquée à Sainte Clotilde.

ZONE	TOTAL Abondance [IC 95%] Densité(/km <sup>2</sup> )	DIVAGANTS Abondance [IC 95%] Densité(/km <sup>2</sup> )	CHIENS DIVAGANTS Abondance [IC 95%] Densité(/km <sup>2</sup> )	CHATS DIVAGANTS Abondance [IC 95%] Densité(/km <sup>2</sup> )
TECHNO	71 [0-158.9] 197.2	15 [0.2-29.8] 41.7	6 16.7	3 [0.2 - 5.8] 8.3
STDEN	29.8 [14.5 - 44.5] * 82.8	6.2 [1.3 - 11.1] 17.2	0 0	6.2 [5.2-7.2] 17.2
COLOR	55 [14.5-95.5] 152.8	2 [0 - 4.8] 5.6	2 5.6	0 0
STECLO	107.5 [72.8-142.1] * 298.6	79.3 [61.8 - 97.0] ** 220.4	10 27.8	69 [45.6 - 92.4] ** 191.7
PDC	0 0	0 0	0 0	0 0

**Tableau 3 :** Estimation de l'abondance des populations et de la densité par secteur calculés à l'aide de l'estimation de Chapman. TECH : Technopole, STDEN : Saint-Denis centre, COLOR : Parc du Colorado, STECLO : Sainte Clotilde, PDC : Plaine des Cafres – Aire de Piton Sec.

### b. Utilisation du package Rcapture

Afin d'évaluer les recaptures en considérant toutes les sessions de comptage, nous utilisons le package Rcapture avec la fonction closedp.

L'application de cette fonction pour le comptage de la technopole renvoie des avertissements pour tous les modèles différents. Pour le comptage de Saint Denis, seul le modèle Mbh arrive à s'ajuster aux données. Il prend en compte une hétérogénéité dans la probabilité de recapture après une première capture et une hétérogénéité inter-individuelle dans la probabilité de capture. Ce modèle calcule ainsi une abondance de 34.9 individus dans la zone d'étude. En ce qui concerne le Colorado, les modèles Mb et Mbh semblent s'ajuster correctement. Le critère d'Akaike's (AIC) le plus faible est celui du modèle Mbh qui nous donne une abondance de 10.3 pour cette zone. Enfin, pour le secteur de Sainte Clotilde, deux modèles semblent fonctionner, à savoir le modèle de base M0 qui a un AIC élevé et le modèle Mt qui prend en compte l'hypothèse qu'il y a une hétérogénéité dans les captures selon le temps. Ce dernier donne une abondance de 129.3 animaux pour le secteur, correspondant à ce qu'on avait trouvé grâce à l'estimation de Chapman.

ZONE	Modèle utilisé	Abondance par fonction closedp du package Rcapture	Abondance par estimation de Chapman
TECHNO	Aucun	/	71 [54.3 – 87.6]
STDEN	Mbh	34.9	29.8 [19.0 – 40.58]
COLOR	Mbh	10.3	55 [40.4 – 69.6]
STECLO	Mt	129.3	107.5 [87.0 – 128.0]
PDC	Aucun	/	0

**Tableau 4 :** Estimation d'abondance d'animaux par la fonction closedp et par l'estimation de Chapman selon les zones

### 3. Points d'intérêts épidémiologiques

Les points d'intérêts épidémiologiques ont été recensés pour les cinq secteurs. Par conséquent, ont été recensés les poubelles et leurs caractéristiques (ouvertes ou non, taille), les restaurants, les déchetterie et d'autres points tels que les zones de nourrissages qui pouvaient être identifiées lors du parcours des transects (Figure 14).

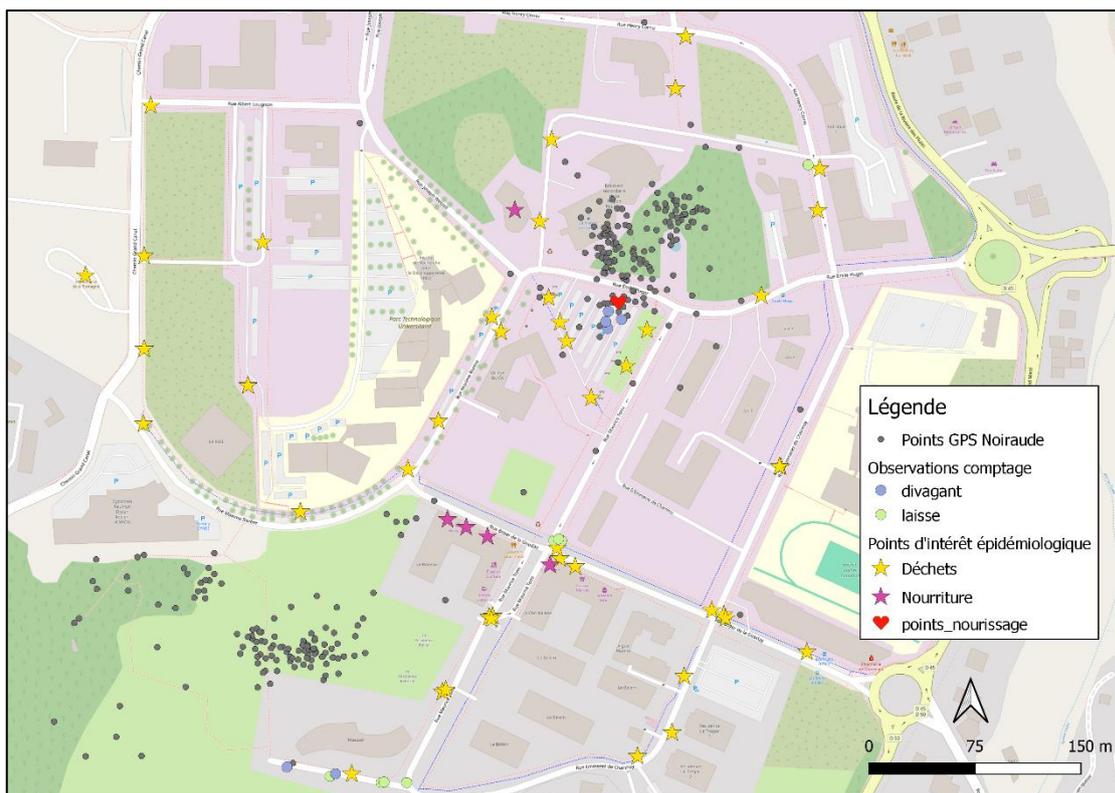


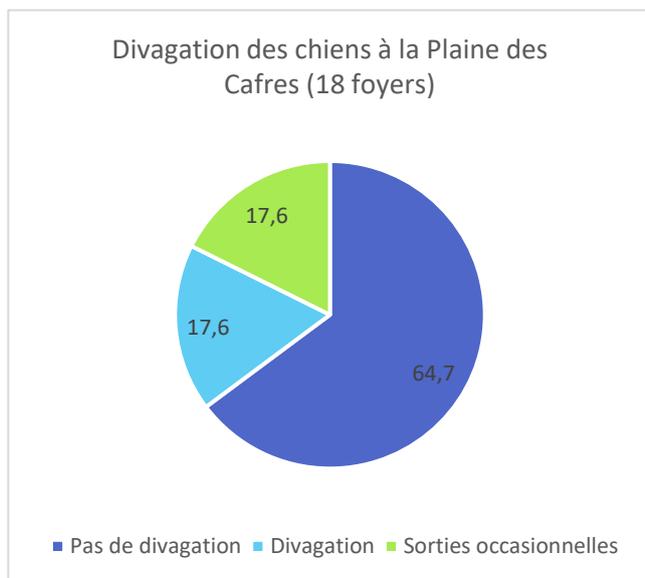
Figure 14 : Recensement des points d'intérêts épidémiologiques dans une zone lors du comptage à la Technopole

## C. Etude de cas : lien entre dynamique de population canine et néosporose dans les élevages à la Plaine des Cafres

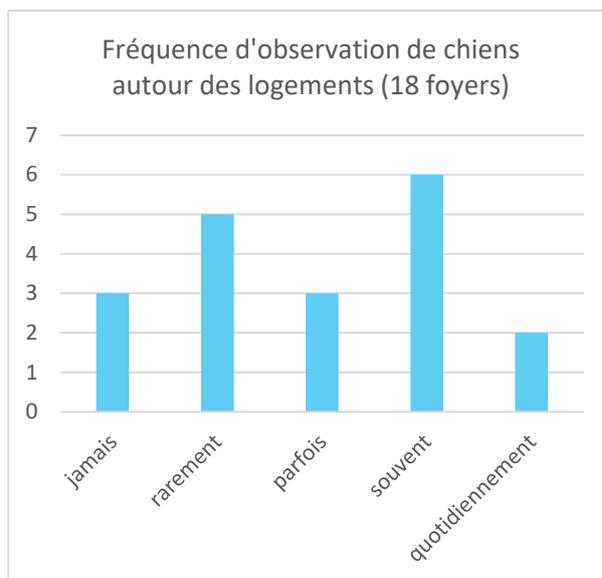
### 1. Résultats du questionnaire sur la population canine dans la zone d'étude

Lors des sessions de porte à porte, 14 foyers dont quatre éleveurs ont pu être questionnés. Ces derniers ont communiqué la localisation des pâtures de leur troupeau pour pouvoir établir des liens entre la population canine et la transmission de maladies dans leur élevage. Pour compléter ces résultats, un total de cent cinquante flyers a été distribué dans le quartier de la Grande Ferme sur deux jours de distribution (le 16/05/2024 et le 28/05/2024). Cinq réponses ont pu être recueillies par ce moyen, élevant à 19 le nombre de foyers sondés.

Dans notre échantillon, 18 personnes hébergeaient au moins un animal domestique et 17 d'entre elles avaient au moins un chien. Onze foyers ont moins de cinq animaux, trois en ont entre cinq et vingt et les quatre éleveurs interrogés ont plus de vingt animaux. Le nombre de chiens par foyer oscille entre 0 et 6 avec une moyenne de 1,9 chiens. Lorsqu'on considère uniquement les propriétaires de chien, 64,7% affirment que leur chien ne peut pas divaguer contre 17,6% dont les chiens sortent régulièrement du logement. Les trois derniers propriétaires (17,6%) mentionnent des sorties plus épisodiques qui ne sont pas autorisées à la base (Figure 15). Lors des balades, seuls deux propriétaires affirment laisser leur chien se promener librement, tandis que les autres les tiennent en laisse ou ne les promènent pas du tout. Les deux chiens autorisés à se promener librement peuvent également circuler sans restriction depuis leur domicile ou de manière occasionnelle.



*Figure 15 : Proportion de l'autorisation de la divagation des chiens en réponse au formulaire à la Plaine des Cafres*



*Figure 16 : Répartition des observations de la circulation de chiens à la Plaine des Cafres*

En ce qui concerne les observations de chiens circulants autour ou sur leur terrain, dix ménages signalent des chiens divagants, huit des chiens errants, quatre des chiens de chasse et trois n'en observe jamais. Un des éleveurs rapporte également la présence de chiens non tenus en laisse lors de balade et qui sont ainsi amenés à aller sur ses pâtures. En termes de fréquence, 5 personnes considèrent en voir rarement, 9 estiment en voir un peu plus souvent à très souvent et enfin deux personnes aperçoivent des chiens qui ne leur appartiennent pas quotidiennement sur leur propriété (Figure 16).

Ces premiers résultats nous permettent de voir qu'une circulation active de chiens est présente de la zone. Malgré un échantillon total petit, le parcours des rues de la zone nous a également permis de nous rendre compte de la forte densité de chiens chez les propriétaires. Cependant, lors de ces sessions, peu de chiens errants ou divagants ont été aperçus.

## 2. Résultats du comptage dans la zone sélectionnée

Aucun animal, qu'il soit divagant ou tenu en laisse, n'a été aperçu lors des quatre sessions de comptage dans la zone. Une aire de pique-nique et des chemins de randonnées et de VTT couvrent la majeure partie du secteur mais aucun déchet n'a été aperçu.

## 3. Résultats du suivi GPS sur chien divagants dans la zone

Pour cette étude de cas, un collier GPS a pu être posé sur deux chiens divagants de la zone après sondage des propriétaires sur la possibilité de l'animal de pouvoir circuler librement. Les domaines vitaux de Wappy, chien mâle castré, et d'Evie, chienne femelle stérilisée, ont pu être analysés dans la partie III.A.

Nous observons que le domaine vital de chiens divagants peut chevaucher la zone de pâture des élevages interrogés (Figure 17). Cela coïncide avec les réponses des éleveurs 2 et 3 qui ont remarqué que des chiens errants, divagants ou encore des chiens de propriétaire en balade ou de chasse passaient sur leur pâture.

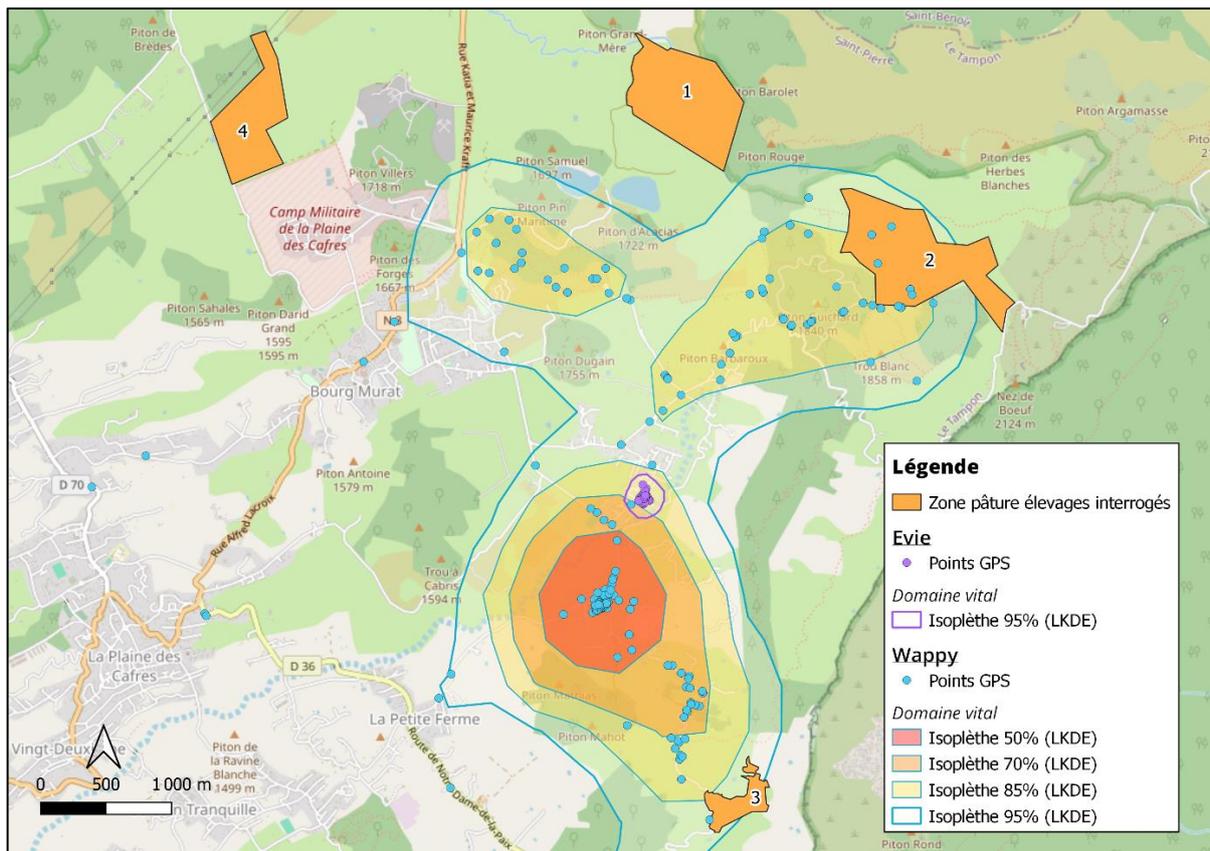


Figure 17 : Domaine vital de deux chiens divagants et chevauchement avec les pâtures d'éleveurs interrogés.  
LKDE : Location based kernel density distribution

#### 4. Résultats des prélèvements sérologiques néosporose

Dans le cadre d'un autre stage, des prélèvements sanguins ont été pratiqués sur des chiens de propriétaire consentants. Onze chiens ont pu être prélevés dans la zone de la Grande Ferme et de la Petite Ferme. Sur ces onze prélèvements, deux sont revenus positifs à l'analyse sérologique à *Neospora caninum* mais les chiens suivis par GPS sont négatifs.

## IV. DISCUSSION

### A. Suivi GPS des chiens errants et divagants et estimation du domaine vital

#### 1. Collecte de données GPS

L'analyse de la collecte de données par les deux types de boîtiers GPS nous a permis de mettre en avant les points forts et les points faibles de chacun. En effet, le boîtier de type Traccar présente de nombreuses pertes de données mais possède une batterie qui tient plus longtemps. Pour expliquer cette perte de données, on peut donner plusieurs hypothèses. Les chiens étant des animaux qui sont proches du sol, le GPS rencontre plus de difficultés à capter le minimum de signaux satellitaires pour effectuer une triangulation et renvoyer une position correcte. A contrario, les Tracki arrivent davantage à récupérer et envoyer des positions précises en combinant les signaux Wi-Fi et GPS mais sont plus consommateurs de batterie.

On préférera alors positionner des GPS de type Traccar avec chargeur solaire sur des chiens errants non approchables après la capture pour qu'il puisse garder une batterie correcte durant au moins deux

semaines de collecte. Le boîtier Tracki convient davantage à des chiens divagants de propriétaire qui ont la possibilité de le recharger régulièrement. Grâce à son petit format, il est possible de sélectionner des chiens de plus petite taille pour le suivi (Tableau 5).

TRACCAR	TRACKI
Grande taille et lourd	Petite taille
Perte de données importante	Données plus précises
Batterie longue durée	Batterie courte durée
→ Chiens errants non approchables et de grande taille	→ Chiens divagants avec possibilité de recharger Possible sur chiens petit format

Tableau 5 : Récapitulatif des caractéristiques de chaque GPS et de leur possible utilisation

On observe de plus une différence entre les animaux suivis en milieu urbain ou rural pour la collecte de données. Noiraude, qui est une chienne évoluant dans un milieu où la densité en bâtiment est élevée, a eu une perte totale de 90% lors du nettoyage de données. Wappy, qui est dans milieu davantage ouvert en campagne, n'a eu que 86% de perte. Enfin, Milo qui fréquente le parc du Colorado qui est un milieu rural a eu le plus de perte de données avec 96% du tableau initial qui a été enlevé. Sachant que les signaux ont plus de difficultés à être reçus lorsque le paysage est dense (forêt, bâtiments), les individus qui ont tendance à se cacher ou à vivre dans ces milieux auront des pertes de données plus importantes. On peut supposer que Milo et Noiraude qui sont des chiens errants ont plus tendance à se cacher et vont avoir plus de pertes de données qu'un chien divagant tel que Wappy, qui évolue de surcroît dans un paysage « ouvert ».

On peut également essayer d'expliquer les pertes de données selon les horaires de la journée avec ce principe. Sur Milo, on observe une perte plus importante pour les horaires de milieu de journée alors que pour Wappy elles sont davantage pendant la nuit. On peut ainsi supposer qu'un chien errant se cachera plutôt pendant les périodes chaudes en journée, caractérisant sa phase de repos, et sera plus actif la nuit. A l'inverse, un chien divagant aura plus tendance à vivre au rythme de ses propriétaires et à rentrer dans la maison la nuit, rendant plus difficile la réception de signaux (Griss et al., 2021).

## 2. Dynamique de circulation et domaines vitaux

Les résultats et les cartographiques expliqués dans cette étude nous donnent une première idée sur les domaines vitaux de chiens errants ou divagants. Néanmoins, aucune conclusions sur les liens entre le statut du chien (statut de circulation, sexe, statut reproducteur et lieu de vie) et l'aire du domaine vital peuvent être établies au vu de la taille de l'échantillon et du nombre de données collectées. Certaines hypothèses peuvent tout de même être exposées pour expliquer la taille des aires de répartitions. Nous avons trouvé que Wappy, chien divagant mâle castré, a l'aire de répartition la plus grande. Cela peut s'expliquer en partie par le fait que c'est un chien très sociable qui a l'habitude de divaguer très loin de son logement et qui va facilement suivre des randonneurs sur une portion de leur marche. Au contraire Evie, deuxième chien divagant de notre échantillon, possède un caractère plus peureux et a moins tendance à partir loin.

Par ailleurs, la forme et la taille des domaines vitaux peuvent être influencés par la disponibilité des ressources et d'abri (Dürr et al., 2017; Sparkes et al., 2014). On voit clairement que le cœur des aires données par la méthode d'estimation par noyau se situe là où les animaux sont nourris et/ou logés pour les chiens divagants. Pour les chiens errants, on remarque qu'il est possible que plusieurs

zones de vie soient mises en évidence par le suivi GPS, permettant d'identifier d'autres zones qui hébergent certainement des ressources ou un abri. De même, on peut remarquer une préférence pour les zones de végétations pour les trois chiens errants suivis. Ces zones offrent abri et cachette, notamment lors des heures chaudes de la journée pour les protéger du soleil (Cunha Silva et al., 2022).

### 3. Perspectives d'amélioration

Plusieurs améliorations au protocole et à l'analyse des domaines vitaux peuvent être faites. Le nombre d'individus suivis doit être augmenté pour permettre des comparaisons plus poussées entre les parcours des chiens qui ont un statut de circulation différent mais aussi selon les sexes et les statuts reproducteurs (Dürr et al., 2017; Muinde et al., 2021; Sparkes et al., 2014; Van Kesteren et al., 2013). De plus, une analyse fine du temps qu'il faut pour obtenir une stabilité du domaine vital comme l'a fait Sousa et al. (2023) préciserait également les temps nécessaires de pose des GPS.

Pour les analyses, l'incorporation dans le calcul d'estimation par noyau (LKDE) des types de paysage permettrait d'affiner les zones et les rendrait plus représentatives de la réalité. En effet, les barrières naturelles ou artificielles ont un impact direct. Une autre méthode d'analyse nommée Biased Random Bridge (Benhamou, 2011), fréquemment utilisée dans l'estimation de domaines vitaux et de distribution d'utilisation, n'a pas pu être effectuée dans ce travail. Il serait intéressant de la mettre en place pour avoir l'intégration du temps dans ces analyses spatiales.

## B. Estimation de la taille de population de carnivores domestiques dans différents secteurs et points d'intérêts épidémiologiques

### 1. Nombre d'observation et estimation des tailles de population

Notre protocole de capture-marquage-recapture a été réalisé sur deux jours consécutifs pour chaque zone ce qui est une période assez courte pour considérer comme valide l'hypothèse d'une population fermée (Belo et al., 2015).

Le nombre d'observations ainsi que l'estimation d'abondance des carnivores domestiques est plus élevée dans la zone de Sainte Clotilde par rapport aux autres secteurs analysés. Malgré l'impossibilité de relier statistiquement le nombre d'attracteurs au nombre d'animaux comptés dans une zone, on peut faire plusieurs hypothèses pour expliquer la variabilité de densité entre les zones. En effet, on observe un plus grand nombre d'aires de déchets accessibles à Sainte Clotilde, pouvant attirer les populations errantes (Dias et al., 2013). De plus, à la différence du centre de Saint-Denis, ultra urbanisé, le quartier offre davantage de possibilités de s'abriter et/ou se cacher. La circulation est également moins importante. On peut ajouter que le secteur sélectionné dans le quartier de Sainte Clotilde est résidentiel, expliquant les probabilités plus élevées de trouver des propriétaires d'animaux potentiellement divagants. Les propriétaires laissent leurs chiens davantage libres pendant la promenade dans le parc du Colorado, qui est un espace ouvert, par rapport à des zones urbaines telles que Saint Denis ou la Technopole.

Durant les sessions de comptage, nous avons remarqué une variabilité du nombre d'observations entre les deux périodes journalières (matin et soir). Les sessions en fin d'après-midi étaient généralement plus fraîches se traduisant par la sortie des animaux divagants. En outre, les propriétaires sont plus nombreux à promener leur chien en laisse à cette période de la journée.

Les résultats des statuts de santé concorde avec ceux qui avaient déjà été objectivés dans l'étude de l'EPL Saint-Paul avec une majorité d'individus en bonne santé (EPLEFPA-CFPPA de Saint-Paul, 2018).

L'analyse plus fine des animaux rencontrés permet de structurer les observations en trois groupes. Les carnivores divagants de notre échantillon semblent présenter des signes de mauvaise santé et une note d'état corporel basse, pouvant être expliqué par un manque de visites vétérinaires et une malnutrition. Etant très faibles, ces individus sont plus exposés aux agents pathogènes et leur statut de divagation facilite la transmission de maladies aux autres compartiments (Cortez-Aguirre et al., 2018).

L'estimation des densités, calculée à partir de la formule de Chapman, renvoie des valeurs très élevées de densité avec une variance très importante. On peut remettre en question l'emploi de cette estimation qui est moins adaptée à un petit échantillon d'individus « capturés ». De même, les tailles d'échantillons rendent difficile l'utilisation de modèle avec le package Rcapture. On observe une grande différence d'estimation d'abondance, notamment pour le Colorado, et une impossibilité de la calculer pour la Technopole.

## 2. Limites et perspectives d'amélioration

Les limites majeures de ce protocole sont dues aux moyens nécessaires aux comptages. Le parcours à pied et seule des transects rend les sessions d'observations particulièrement chronophages (40 heures au total pour cinq zones) et limite ainsi le nombre de zones parcourues. L'organisation d'un plus grand nombre de comptage avec plus de moyens humains augmenterait la représentativité de la densité populationnelle. De par la réduction des activités humaines et de la température, nous pouvons supposer que les mouvements des carnivores domestiques divagants peuvent être plus fréquents de nuit. De ce fait, il serait intéressant d'organiser des comptages nocturnes.

De plus, il existe un biais dans la collecte de données entre les zones urbaines et rurales, expliquées par un nombre plus restreint de voies praticables à pied dans les zones rurales (forêt, terrains privés, falaises, etc.). Bien que ces limitations rendent indétectable certains individus, leur prévention est difficile dans ces types d'études (Belo et al., 2015).

Tout comme dans d'autres études basées sur le comptage, l'estimation de la densité a ici été effectuée en divisant simplement le nombre de chiens estimé par la superficie totale, ce qui pourrait ne pas représenter la vraie valeur de ce paramètre. En effet, les domaines vitaux des animaux observés s'étendent possiblement au-delà de la zone de comptage. La surface de calcul pour la densité doit par conséquent être supérieure à la surface d'étude. Il serait intéressant d'associer les tailles des aires de domaines vitaux de chiens errants et divagants de la zone pour affiner cette estimation.

## C. Liens des dynamiques de population avec les risques infectieux

Cette première étude exploratoire de suivi GPS de chiens circulants nous montre que les domaines vitaux ne sont pas si étendus pour les chiens errants qui sont les plus à risque de transmettre des maladies. Lorsqu'une zone de nourrissage est fixée, l'animal semble graviter autour de ce point pour la majorité de ses déplacements ce qui permet d'orienter les mesures de contrôle de ces populations et de gestion des risques sanitaires.

La zone urbaine se traduit par une promiscuité entre les zones de vie des carnivores domestiques et les humains. Cette proximité induit un risque supplémentaire en faveur de la transmission de maladies zoonotiques ou avec d'autres animaux domestiques. A contrario, le parc du Colorado est une zone ouverte où les promenades en liberté sont récurrentes. Cette présence conjointe entre des animaux de propriétaire et errants peut représenter un risque important de transmission de maladies infectieuses et parasitaires. Ainsi, malgré des contextes différents (densité de population humaine et

d'animaux divagants), des similitudes d'un point de vue épidémiologique peuvent être mises en évidence. La fréquence des contacts avec des animaux potentiellement malades est toujours favorisée mais par des facteurs différents.

Enfin, les risques épidémiologiques évoqués dans ce travail sont à pondérer en fonction des voies de transmission et des agents pathogènes propres à chaque maladie (Brookes et al., 2020).

## D. Etude de cas : lien entre dynamique de population canine et néosporose dans les élevages de la Plaine des Cafres

### 1. Circulation de la population canine dans les zones d'intérêts

Deux méthodes de recensement de la circulation de chiens ont été faites à la Plaine des Cafres. Le questionnaire a permis d'accéder à des réponses sur les chiens de propriétaire et d'avoir une première estimation de la circulation active d'animaux dans la zone. Les réponses des éleveurs interrogés positifs à la néosporose indiquent que des chiens circulent régulièrement sur leurs pâtures, voire attaquent les troupeaux. De même, les habitants de la zone observent régulièrement des chiens en état de divagation sur leur propriété.

Les observations collectées au cours du comptage dans la zone ne reflètent pas la réelle densité de chien en état de divagation dans notre secteur d'intérêt. La faible représentativité de notre zone d'étude s'explique par sa taille restreinte et la difficulté d'évoluer à pied dans le secteur (forêt non aménagée). De plus, les aires de pique-nique étaient dépourvues de déchets pouvant attirer des animaux errants. Pour autant, la propriétaire de la pâture qui jouxte la zone de comptage a affirmé lors de l'enquête avoir régulièrement observé des chiens errants sur ses terres.

De surcroît, les promenades sans laisse et la libre circulation de chiens de propriétaires dans des zones de pâture permettent de dire qu'il existe un réel risque de transmission de la néosporose aux cheptels d'élevages. En effet, le suivi GPS d'un chien divagant montre clairement sa présence sur des pâtures d'exploitation dont on connaît le statut positif vis-à-vis de la néosporose.

### 2. Résultats néosporose

La taille l'échantillon des prélèvements sanguins demeure faible pour être extrapolable à l'échelle de la population. Néanmoins, ils reflètent la nécessité de sensibiliser les éleveurs et les propriétaires alentours sur les risques associés à la maladie.

### 3. Perspectives d'amélioration

Tout d'abord, un plus grand nombre de réponses au questionnaire ainsi que des comptages sur un plus grand nombre de secteurs seraient intéressants pour caractériser davantage la population canine et ainsi sensibiliser au mieux sur les risques sanitaires dans cette zone. Cela nécessiterait plus de temps et de moyens pour être mis en œuvre de manière efficace.

En outre, afin de caractériser au mieux le rôle épidémiologique du chien dans la transmission de la maladie, des prélèvements sur un plus grand nombre de chien de la zone seraient nécessaires pour compléter l'échantillon. Un dépistage entier du troupeau de certains élevages positifs lors de la prophylaxie 2024 permettra d'identifier les lignées positives (transmission verticale) mais également de mettre en évidence les possibles transmissions horizontales par le chien. Ces résultats complèteront les données déjà obtenues pour étoffer les connaissances sur la maladie.

## V. CONCLUSION

Cette étude exploratoire sur la dynamique de population des carnivores domestiques errants et divagants à la Réunion a permis de poser un cadre méthodologique. En effet, au vu des enjeux liés à une grande population circulante sur l'île, ce travail novateur apporte des connaissances inédites pour appréhender au mieux ces problématiques. La construction du protocole des suivis par géopositionnement satellitaire des chiens circulants a été affinée progressivement en s'adaptant au contexte et au matériel disponible. Les premiers résultats apportent des connaissances sur les domaines vitaux et les mouvements des individus dans différents milieux. Par ailleurs, les estimations de densité d'animaux domestiques dans des secteurs communs à ces aires de répartition, viennent compléter les données sur les potentiels contacts entre animaux. Le relevé de points d'intérêt épidémiologique ayant un rôle d'attracteur des individus en état de divagation explique la répartition spatiale des carnivores. Toutes ces données sont pertinentes pour objectiver les risques sanitaires associés à la divagation d'animaux en mauvaise santé. L'étude de cas sur la néosporose vient mettre en lumière l'apport de ces méthodes dans la compréhension des rôles épidémiologiques des individus divagants et dans la gestion de ces risques sanitaires.

Ces approches vont être utilisées dans le cadre de travaux menés par le Cirad à Antananarivo à Madagascar pour la gestion des populations errantes liées à la rage. Un protocole de comptage similaire à celui exposé dans cette étude sera effectué par plusieurs équipes dans différents quartiers de la capitale ainsi que des suivis des mouvements individuels des chiens par GPS. A cela s'ajoute d'autres méthodes permettant d'estimer la taille des populations, notamment des enregistrements par caméra-trap au niveau de points fixes attracteurs. L'ensemble des résultats issus de ces études spécifiques alimenteront un modèle statistique pour estimer l'abondance de la population totale des chiens dans la capitale.

**ANNEXE 1** : Formulaire écrit sur KoboToolBox et utilisé pour le comptage des carnivores domestiques dans différentes zones

02/04/2024 15:47

Comptage\_chien\_Run

## Comptage\_chien\_Run

### Photo de l'animal

Cliquez ici pour télécharger un fichier. (< 5MB)

### Date et heure de l'observation

yyyy-mm-dd

hh:mm

### Localisation observation

latitude (x.y °)

\_\_\_\_\_

longitude (x.y °)

\_\_\_\_\_

altitude (m)

\_\_\_\_\_

précision (m)

\_\_\_\_\_



### Espèce ?

- Chien  
 Chat

### Statut circulation

- Divagant  
 En laisse avec proprio  
 Sans laisse mais avec proprio

### Présence d'un collier ?

- Oui  
 Non

**Sexe**

- Mâle
- Femelle
- Ne sait pas

**Catégorie d'âge**

- Jeune
- Adulte

**Statut stérilisation**

- Stérilisé
- Entier
- Ne sait pas

**Note d'état corporel**

	1	2	3	4	5
<b>1 : très maigre / 5 : obèse</b>	<input type="radio"/>				

**Problèmes de santé apparents**

- Lésions dermatologiques
- Boiterie
- Signes respiratoires
- Signes oculaires
- Autre

**Si autre : précisions**

---

**Commentaires**

---

**ANNEXE 2** : Formulaire utilisé pour le recensement de la population canine à la Plaine des Cafres dans le cadre de l'étude sur le rôle épidémiologique du chien dans la néosporose en élevage

16/06/2024 21:44

Etude CIRAD - population canine à la Plaine des Cafres

## Etude CIRAD - population canine à la Plaine des Cafres

Cette enquête s'inscrit dans le cadre du projet FEADER santé biodiversité par une étude menée par le CIRAD (UMR ASTRE) sur l'analyse de la population canine et de sa circulation dans une zone rurale d'élevage à la Réunion.

*Ce questionnaire est anonyme et ne prend qu'une minute à remplir. L'UMR ASTRE (CIRAD) s'engage à ce que toutes les informations collectées soient traitées de manière confidentielle, contribuant ainsi à l'avancée des connaissances dans le domaine de la santé animale sur l'île de la Réunion. Cette étude s'inscrit aussi dans le cadre d'un stage de Master. Merci à vous d'y contribuer.*

**Avez vous des animaux domestiques chez vous ?**

- Oui  
 Non

**Si oui, lesquels ?**

*Plusieurs réponses possibles*

- Chien  
 Chat  
 Chèvre  
 Mouton  
 Bovin  
 Lapin  
 Volaille

**Combien d'animaux domestiques avez vous en tout chez vous ?**

- Aucun  
 Moins de 5  
 Entre 5 et 20  
 Plus de 20

**Combien de chiens avez vous ?**

*Inscrire le nombre exact*

---

**Vos chiens sont-ils libres de circuler librement à l'extérieur de votre terrain ?**

- Oui (absence de clôture, portail ouvert régulièrement, etc.)  
 Non (impossibilité de sortir sans le propriétaire)  
 Par moment (fugue par exemple)

**Lors des balades en dehors de votre logement, ont-ils la possibilité de circuler librement ?**

- Ils sont libres de circuler  
 Ils sont tout le temps en laisse  
 Ils ne sont pas baladés, ne sortent pas en dehors de la maison

**Avez-vous déjà vu des chiens ne vous appartenant pas sur votre terrain ?***Si oui, plusieurs réponses possibles*

- Non
- Oui : chiens divagants des voisins
- Oui : chiens errants
- Oui : chiens de chasse
- Oui : chiens de propriétaire en balade

**Si oui, à quelle fréquence ?**

- Rarement
- Parfois
- Souvent
- Tous les jours

**Générez la localisation de votre logement en appuyant sur la cible**

latitude (x.y °)

---

longitude (x.y °)

---

altitude (m)

---

précision (m)

---

**Commentaires, précisions***Texte libre*

---

Nous vous remercions pour votre participation. N'oubliez pas de cliquer sur le bouton «SOUMETTRE» pour que nous puissions avoir accès à vos réponses.

*Si vous avez des questions à propos de ce questionnaire ou de l'étude, vous pouvez les adresser aux adresses mail suivantes : [anaelle.varais@cirad.fr](mailto:anaelle.varais@cirad.fr) / [cecile.squarzonidiaw@cirad.fr](mailto:cecile.squarzonidiaw@cirad.fr)*

---

# ENQUÊTE POPULATION CANINE À LA PLAINE DES CAFRES

**CIRAD 2024**

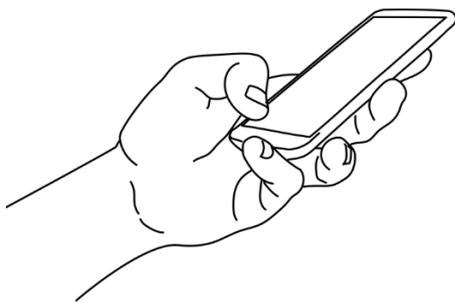
Cette enquête s'inscrit dans une étude portée par le CIRAD (UMR ASTRE - projet FEADER santé biodiversité), qui s'intéresse à la population de chien et sa circulation dans une zone rurale d'élevage à la Réunion.

Ce formulaire permet de collecter des données sur les animaux de propriétaire et les observations de chiens errants et divagants dans la zone d'étude.



**< 1  
minute  
à remplir**

**SCANNEZ  
MOI**



Toutes les données collectées seront traitées de manière confidentielle, contribuant ainsi à l'avancée des connaissances dans le domaine de la santé animale sur l'île de la Réunion. Cette enquête s'inscrit aussi dans le cadre d'un stage de Master. Merci à vous d'y contribuer.

Contacts :

- [anaelle.varais@cirad.fr](mailto:anaelle.varais@cirad.fr)
- [cecile.squarzonidiaw@cirad.fr](mailto:cecile.squarzonidiaw@cirad.fr)



Partenariat de recherche et d'enseignement  
Une santé saine de l'élevage à la Réunion



**ANNEXE 4** : Consentement éclairé pour l'étude sur le rôle épidémiologique du chien dans la néosporose en élevage à la Plaine des Cafres



**Objet : Autorisation de suivi GPS et prélèvements d'échantillons sur carnivores domestiques**

Je soussigné(e) Madame, Monsieur ....., domicilié au ....., numéro de téléphone : ....., autorise le personnel du Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), UMR ASTRE, à réaliser une collecte de données et des prélèvements sur mon animal de compagnie.

Cette autorisation concerne la pose d'un collier GPS (Global Positioning System) avec collecte de données associées et/ou de prélèvements de sang et de fèces. Le collier GPS devra être laissé pour une durée de deux semaines consécutives afin d'évaluer le domaine vital de l'animal circulant. Deux études conjointes, « Dynamique de circulation des carnivores domestiques et des risques sanitaires reliés à La Réunion » et « Problématiques d'avortement en élevage et lien avec carnivores domestiques à la Réunion », sont déclinées dans le cadre du projet « Epidémiologie des maladies infectieuses affectant les filières animales à La Réunion (Rita Animal) » financé par le FEADER.

Je m'engage à fournir toute la collaboration nécessaire au personnel du CIRAD pour faciliter la pose du collier GPS et les prélèvements. Cette collecte contribue à des études scientifiques visant à améliorer la compréhension de l'épidémiologie de maladies transmissibles.

J'autorise :

- L'utilisation d'un collier GPS sur mon chien
- Le prélèvement de sang et fèces sur mes chiens

La présente autorisation est valable à partir de la date de signature et prend fin automatiquement à l'issue de l'étude, sauf indication contraire des deux parties.

L'UMR ASTRE (CIRAD) s'engage à ce que toutes les informations collectées soient traitées de manière confidentielle et que les résultats de cette étude vous soient restitués, contribuant ainsi à l'avancement des connaissances dans le domaine de la santé animale sur l'île de la Réunion.

Fait le , à

Signature accompagnée de la mention " Lu et approuvé "

*Contacts :*

*anaelle.varais@cirad.fr (+33617393326)*  
*oriane.carriot@cirad.fr*  
*cecile.squarzonidiaw@cirad.fr*

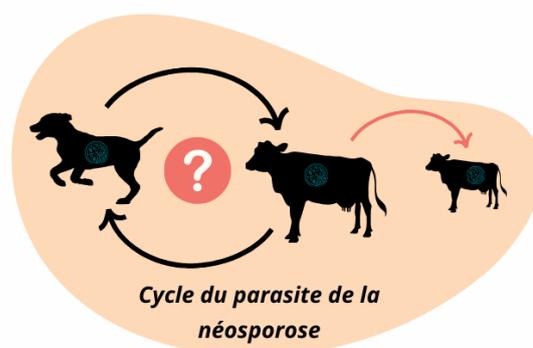
## ÉTUDE CIRAD - GDS RÉUNION

### NÉOSPOROSE ET CARNIVORES DOMESTIQUES À LA RÉUNION

#### La néosporose, c'est quoi ?



- Une maladie **parasitaire**
- Qui se transmet :
  - Entre les vaches et leur veau
  - Entre les chiens et les bovins
- Provoque des avortements chez les bovins
- **Ne se transmet pas à l'Homme**
- **Aucun impact sur les chiens adultes**



#### Objectifs de l'étude :



- Mieux comprendre le **rôle du chien** dans la transmission
- Étudier la **population des chiens circulants** en zone rurale et à proximité d'élevages



#### Dépistage chez les chiens à proximité ou dans les élevages



##### Prélèvement de sang

Détection des anticorps du chien contre le parasite



##### Prélèvement de fèces

Détection du parasite si le chien est excréteur

#### Etude de la population de chiens dans la zone d'étude



##### Questionnaire

Étudier la composition et la taille de la population



##### Pose de colliers GPS sur chien divagant

⚠ A laisser pendant 2 semaines

Déterminer sa zone de circulation

+ Comptage des carnivores domestiques circulants dans la zone d'étude

Toutes les informations récoltées lors de cette étude seront traitées de manière confidentielle. Les résultats de cette étude vous seront restitués et contribueront à l'avancement des connaissances dans le domaine de la santé animale sur l'île de la Réunion.

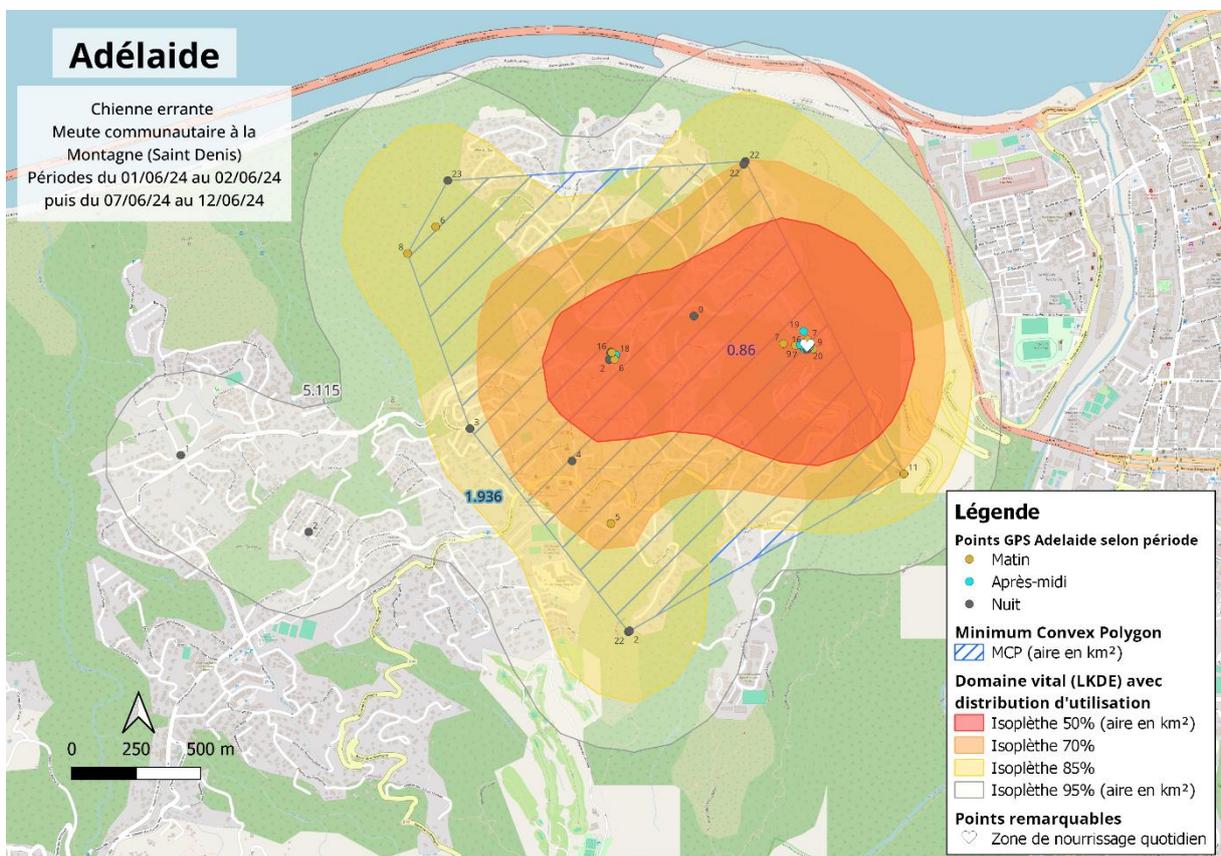
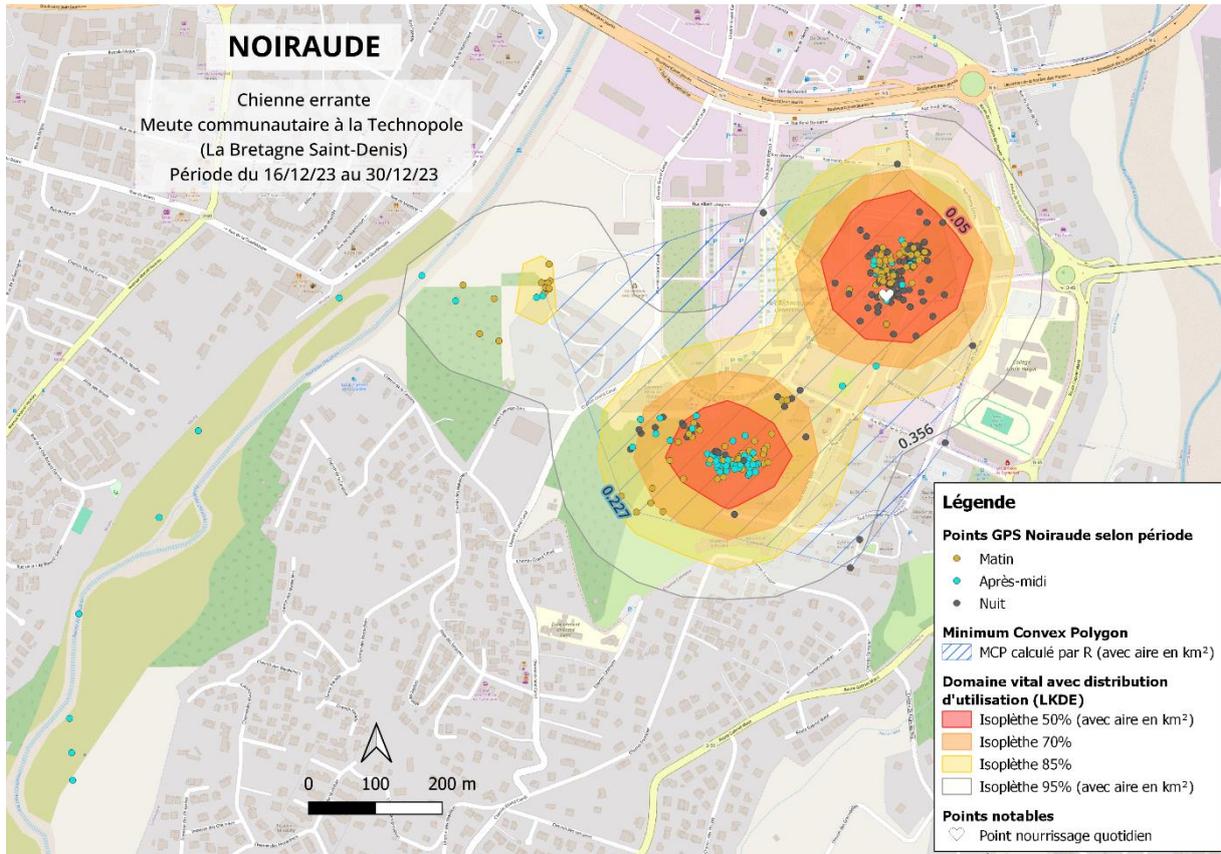
Pour plus d'informations, vous pouvez **contacter** :

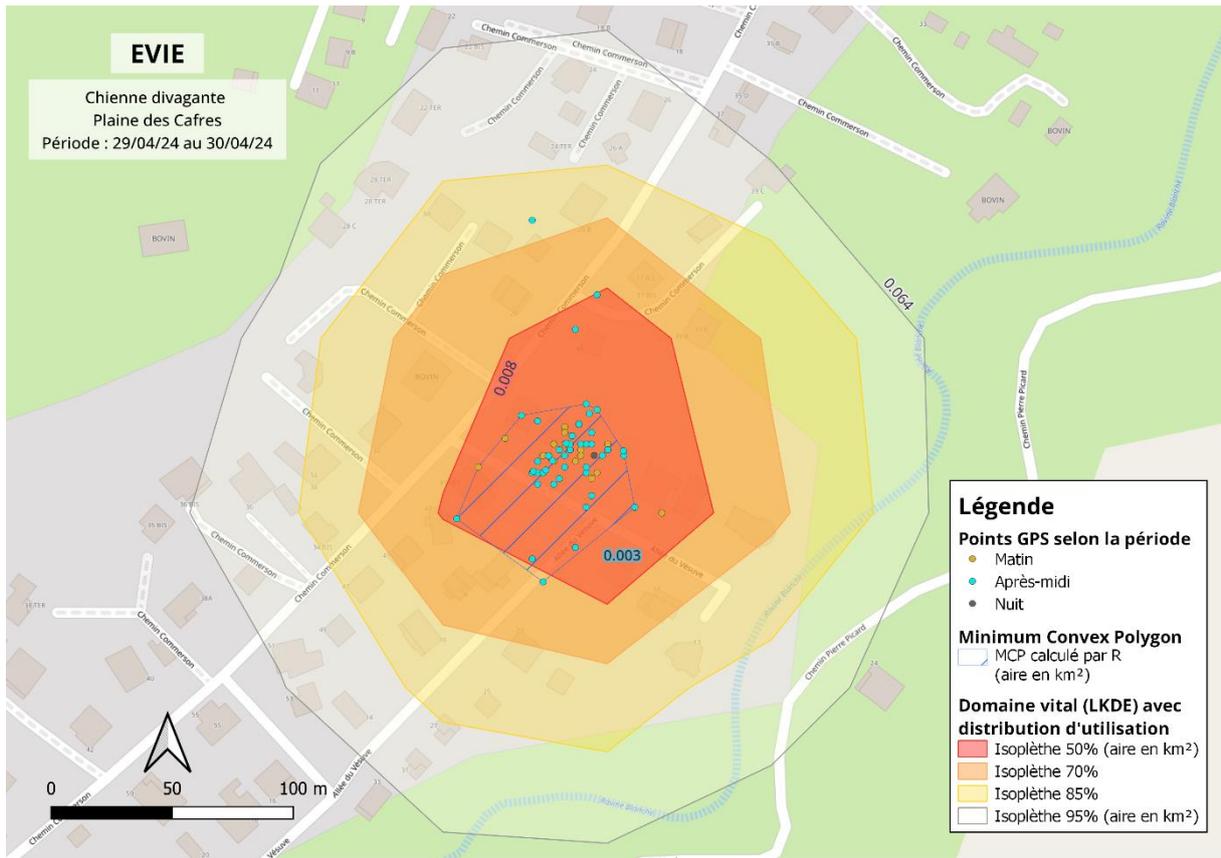
Carriot Oriane : [oriane.carriot@cirad.fr](mailto:oriane.carriot@cirad.fr)

Varais Anaëlle : [anaelle.varais@cirad.fr](mailto:anaelle.varais@cirad.fr)

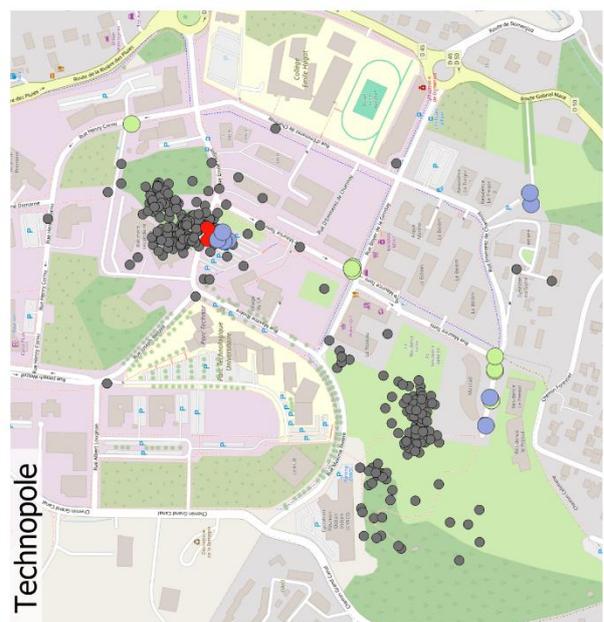
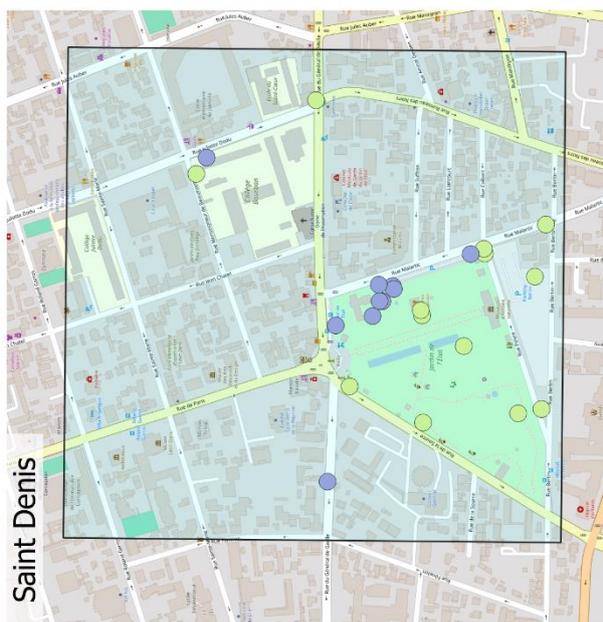
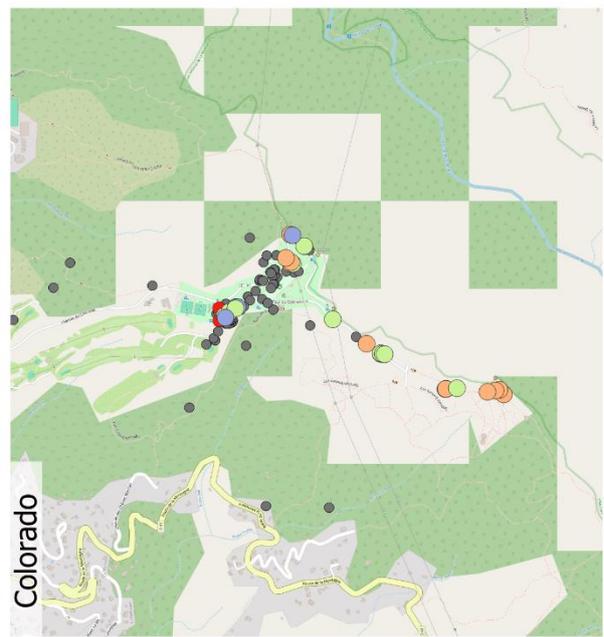
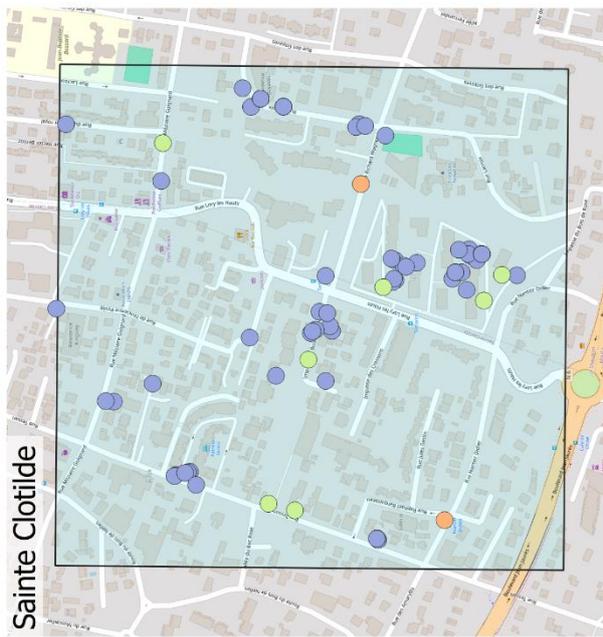
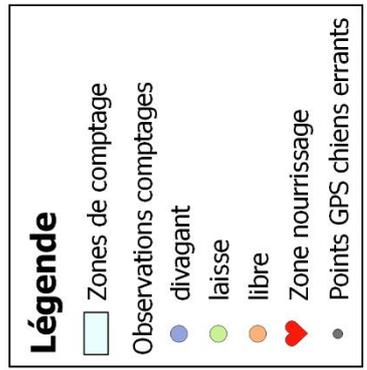
Squarzoni Cécile : [squarzoni.cecile@cirad.fr](mailto:squarzoni.cecile@cirad.fr)

**ANNEXE 6 : Cartographie des domaines vitaux des trois chiens autre que Milo et Wappy suivis par GPS**





**ANNEXE 7** : Résultats spatiaux des comptages dans chaque zone



## BIBLIOGRAPHIE

- Addala, L., 2023. Etude exploratoire sur le rôle réservoir des chiens et chats errants, divagants et de propriétaires dans l'épidémiologie de la leptospirose humaine à La Réunion (thesis). Université de Montpellier.
- Amaral, A.C., Ward, M.P., Da Costa Freitas, J., 2014. Estimation of roaming dog populations in Timor Leste. *Preventive Veterinary Medicine* 113, 608–613. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.11.012>
- Andriamandimby, S.F., Volaso, M.H., Razafindraibe, N.P., Ranoaritiana, D.B., Razafindramparany, M.H., Rafisandratantsoa, T., Nomenjanahary, L.A., Rakotondrabe, N., Andriamananjara, M.A., Guis, H., Lacoste, V., Dreyfus, A., 2023. Rabies surveillance in Madagascar from 2011 to 2021: can we reach the target? *Front. Vet. Sci.* 10. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1270532>
- Anvari, D., Saberi, R., Sharif, M., Sarvi, S., Hosseini, S.A., Moosazadeh, M., Hosseininejad, Z., Chegeni, T.N., Daryani, A., 2020. Seroprevalence of *Neospora caninum* Infection in Dog Population Worldwide: A Systematic Review and Meta-analysis. *Acta Parasit.* 65, 273–290. <https://doi.org/10.2478/s11686-019-00163-4>
- Beck, A.M., 1973. *The Ecology of Stray Dogs: A Study of Free-Ranging Urban Animals*. Purdue University Press Books 50, 357–358. <https://doi.org/10.1086/408711>
- Belo, V.S., Werneck, G.L., Silva, E.S. da, Barbosa, D.S., Struchiner, C.J., 2015. Population Estimation Methods for Free-Ranging Dogs: A Systematic Review. *PLOS ONE* 10, e0144830. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144830>
- Benhamou, S., 2011. Dynamic Approach to Space and Habitat Use Based on Biased Random Bridges. *PLOS ONE* 6, e14592. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014592>
- Bowser, N.H., Anderson, N.E., 2018. Dogs (*Canis familiaris*) as Sentinels for Human Infectious Disease and Application to Canadian Populations: A Systematic Review. *Veterinary Sciences* 5, 83. <https://doi.org/10.3390/vetsci5040083>
- Boyer, E., 2021. Analyse territoriale critique des mesures de gestion des populations de chats sur l'île de la réunion dans le cadre de la conservation de deux espèces endémiques, le pétrel de barau (*Pterodroma baraui*) et le pétrel noir de Bourbon (*Pseudobulweria aterrima*).
- Brookes, V.J., VanderWaal, K., Ward, M.P., 2020. The social networks of free-roaming domestic dogs in island communities in the Torres Strait, Australia. *Preventive Veterinary Medicine* 181, 104534. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2018.09.008>
- Burt, W.H., 1943. Territoriality and Home Range Concepts as Applied to Mammals. *Journal of Mammalogy* 24, 346. <https://doi.org/10.2307/1374834>
- Chadwick, J., Fazio, B., Karlin, M., 2010. Effectiveness of GPS-Based Telemetry to Determine Temporal Changes in Habitat use and Home-Range Sizes of Red Wolves. *Southeastern Naturalist* 9, 303–316. <https://doi.org/10.1656/058.009.0207>
- Chandran, R., Azeez, P.A., 2016. Stray Dog Menace: Implications and Management. *Economic and Political Weekly* 51, 58–65.
- Code rural et de la pêche maritime, 2005. Article L211-23 - Code rural et de la pêche maritime, Code rural et de la pêche maritime.

- Cortez-Aguirre, G.R., Jiménez-Coello, M., Gutiérrez-Blanco, E., Ortega-Pacheco, A., 2018. Stray Dog Population in a City of Southern Mexico and Its Impact on the Contamination of Public Areas. *Veterinary Medicine International* 2018, e2381583. <https://doi.org/10.1155/2018/2381583>
- Cunha Silva, L., Friker, B., Warembourg, C., Kanankege, K., Wera, E., Berger-González, M., Alvarez, D., Dürr, S., 2022. Habitat selection by free-roaming domestic dogs in rabies endemic countries in rural and urban settings. *Sci Rep* 12, 20928. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25038-z>
- Dias, R.A., Guilloux, A.G.A., Borba, M.R., Guarnieri, M.C.D.L., Prist, R., Ferreira, F., Amaku, M., Neto, J.S.F., Stevenson, M., 2013. Size and spatial distribution of stray dog population in the University of São Paulo campus, Brazil. *Preventive Veterinary Medicine* 110, 263–273. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.12.002>
- Dürr, S., Dhand, N.K., Bombara, C., Molloy, S., Ward, M.P., 2017. What influences the home range size of free-roaming domestic dogs? *Epidemiology and Infection* 145, 1339–1350.
- Dürr, S., Ward, M.P., 2014. Roaming behaviour and home range estimation of domestic dogs in Aboriginal and Torres Strait Islander communities in northern Australia using four different methods. *Preventive Veterinary Medicine* 117, 340–357. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.07.008>
- EPLEFPA-CFPPA de Saint-Paul, 2018. Étude : l'errance des carnivores domestiques à la Réunion 2017 - 2018. EPLEFPA-CFPPA de Saint-Paul.
- Gares, H., 2003. Les interruption de gestation d'origine infectieuse en élevage bovin laitier a l'île de la Réunion (other).
- Gill, G.S., Singh, B.B., Dhand, N.K., Aulakh, R.S., Ward, M.P., Brookes, V.J., 2022. Stray Dogs and Public Health: Population Estimation in Punjab, India. *Veterinary Sciences* 9, 75. <https://doi.org/10.3390/vetsci9020075>
- Griss, S., Riemer, S., Warembourg, C., Sousa, F.M., Wera, E., González, M., Alvarez, D., Bulu, P., Hernández, A., Roquel, P., Dürr, S., 2021. If they could choose: How would dogs spend their days? Activity patterns in four populations of domestic dogs. *Applied Animal Behaviour Science* 243, 105449. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105449>
- Hiby, E., Hiby, L., 2017. Direct Observation of Dog Density and Composition during Street Counts as a Resource Efficient Method of Measuring Variation in Roaming Dog Populations over Time and between Locations. *Animals* 7, 57. <https://doi.org/10.3390/ani7080057>
- Hudson, E.G., Brookes, V.J., Dürr, S., Ward, M.P., 2017. Domestic dog roaming patterns in remote northern Australian indigenous communities and implications for disease modelling. *Preventive Veterinary Medicine* 146, 52–60. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2017.07.010>
- Hughes, J., Macdonald, D.W., 2013. A review of the interactions between free-roaming domestic dogs and wildlife. *Biological Conservation* 157, 341–351. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.005>
- Lepe, A., Kaplan, V., Arreaza, A., Szpanderfer, R., Bristol, D., Sinclair, M.S., 2017. Environmental Impact and Relative Invasiveness of Free-Roaming Domestic Carnivores—a North American Survey of Governmental Agencies. *Animals* 7, 78. <https://doi.org/10.3390/ani7100078>
- McNeill, A.T., Leung, L.K.-P., Goulet, M.S., Gentle, M.N., Allen, B.L., 2016. Dingoes at the Doorstep: Home Range Sizes and Activity Patterns of Dingoes and Other Wild Dogs around Urban Areas of North-Eastern Australia. *Animals (Basel)* 6, 48. <https://doi.org/10.3390/ani6080048>

- Meunier, N.V., Gibson, A.D., Corfmat, J., Mazeri, S., Handel, I.G., Gamble, L., Bronsvort, B.M.C., Mellanby, R.J., 2019. A comparison of population estimation techniques for individually unidentifiable free-roaming dogs. *BMC Veterinary Research* 15, 190. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-1938-1>
- Michel, S., Riethmuller, M., s.d. Présentation de la stratégie de régulation des populations de chats dans le cadre d'actions de conservation en cœur de Parc national de La Réunion.
- Molloy, S., Burleigh, A., Dürr, S., Ward, M., 2017. Roaming behaviour of dogs in four remote Aboriginal communities in the Northern Territory, Australia: preliminary investigations. *Australian Veterinary Journal* 95, 55–63. <https://doi.org/10.1111/avj.12562>
- Muinde, P., Bettridge, J.M., Sousa, F.M., Dürr, S., Dohoo, I.R., Berezowski, J., Mutwiri, T., Odinga, C.O., Fèvre, E.M., Falzon, L.C., 2021. Who let the dogs out? Exploring the spatial ecology of free-roaming domestic dogs in western Kenya. *Ecology and Evolution* 11, 4218–4231. <https://doi.org/10.1002/ece3.7317>
- Newsome, T.M., Ballard, G.-A., Dickman, C.R., Fleming, P.J.S., van de Ven, R., 2013. Home range, activity and sociality of a top predator, the dingo: a test of the Resource Dispersion Hypothesis. *Ecography* 36, 914–925. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.00056.x>
- Nutter, F.B., Dubey, J.P., Levine, J.F., Breitschwerdt, E.B., Ford, R.B., Stoskopf, M.K., 2004. Seroprevalences of antibodies against *Bartonella henselae* and *Toxoplasma gondii* and fecal shedding of *Cryptosporidium* spp, *Giardia* spp, and *Toxocara cati* in feral and pet domestic cats. *J Am Vet Med Assoc* 225, 1394–1398. <https://doi.org/10.2460/javma.2004.225.1394>
- OMS, 2024. Animal bites [WWW Document]. URL <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/animal-bites> (accessed 6.12.24).
- OMSA, 2024. Rage [WWW Document]. OMSA - Organisation mondiale de la santé animale. URL <https://www.woah.org/fr/maladie/rage/> (accessed 6.12.24).
- OMSA, 2023. Gestion des populations canines, in: Code Sanitaire Pour Les Animaux Terrestres. pp. 1–12.
- Préfecture Réunion, Cirad, 2024. Convention 2024/2025 entre le Cirad et la préfecture sur les activités relatives à la prévention et à la surveillance des problématiques d'errance et de divagation des animaux domestiques à la Réunion.
- Rabaly, C., 2023. État des lieux et caractérisation de l'antibiorésistance des enterobacteriaceae des carnivores domestiques errants, divagants et confinés sur l'Île de La Réunion (thesis). ENVT.
- Roger-Callewaert, J., 2023. Identification des facteurs de risque de dirofilariose, d'ehrlichiose et d'anaplasmose dans les populations de chiens de l'île de la Réunion (thesis). ENVT.
- Sangarun, K., PHIMPRAPHAI, W., LEELAHAPONGSATHON, K., Binot, A., Kasemsuwan, S., 2018. Estimation of Dogs by Photogenic Capture-Recapture Technique in Various Sites at Chiang Rak Noi Subdistrict, Ayutthaya Province, Thailand. จัดพิมพ์โดย ศูนย์ สัตวแพทย์ สาธารณสุข เอเชีย แปซิฟิก คณะสัตว แพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ ตำบล แม่เหียะ อำเภอ เมือง จังหวัด เชียงใหม่ 50100 ประเทศไทย.
- Shimozako, H., Couto, E., Silveira, P., Massad, E., 2018. Photographic Capture-Recapture for Free-Roaming Dog Population Estimation: Is It Possible to Optimize the Dog Photo-Identification? 5. <https://doi.org/10.19080/BBOAJ.2018.04.555664>

- Sousa, F.M., Warembourg, C., Abakar, M.F., Alvarez, D., Berger-Gonzalez, M., Odoch, T., Wera, E., Chitnis, N., Silva, L.C., Aloba, G., Sikko, M.M., Roquel, P., Hernández, A.L.L., Dürr, S., 2023. Investigation of optimized observation periods for estimating a representative home range of free-roaming domestic dogs. *Sci Rep* 13, 22750. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49851-2>
- Sparkes, J., Körtner, G., Ballard, G., Fleming, P.J.S., Brown, W.Y., 2014. Effects of Sex and Reproductive State on Interactions between Free-Roaming Domestic Dogs. *PLOS ONE* 9, e116053. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116053>
- Tenzin, T., Ahmed, R., Debnath, N.C., Ahmed, G., Yamage, M., 2015. Free-Roaming Dog Population Estimation and Status of the Dog Population Management and Rabies Control Program in Dhaka City, Bangladesh. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 9, e0003784. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003784>
- Tracki, 2024. How GPS Tracker Works and Cell Phone Tower Triangulation Accuracy – Tracki [WWW Document]. URL [https://fr-tracki.glopalstore.com/pages/how-gps-tracker-works-and-cell-phone-tower-triangulation-accuracy?utm\\_campaign=oth\\_r&utm\\_source=https://tracki.com&utm\\_medium=wi\\_proxy&utm\\_content=en\\_US&utm\\_term=c](https://fr-tracki.glopalstore.com/pages/how-gps-tracker-works-and-cell-phone-tower-triangulation-accuracy?utm_campaign=oth_r&utm_source=https://tracki.com&utm_medium=wi_proxy&utm_content=en_US&utm_term=c) (accessed 5.31.24).
- Van Kesteren, F., Mastin, A., Mytynova, B., Ziadinov, I., Boufana, B., Torgerson, P.R., Rogan, M.T., Craig, P.S., 2013. Dog ownership, dog behaviour and transmission of *Echinococcus* spp. in the Alay Valley, southern Kyrgyzstan. *Parasitology* 140, 1674–1684. <https://doi.org/10.1017/S0031182013001182>
- Warembourg, C., Wera, E., Odoch, T., Bulu, P., González, M., Alvarez, D., Abakar, F., Sousa, F.M., Silva, L., Aloba, G., Bal, V., Hernandez, A., Madaye, E., Meo, M., Naminou, A., Roquel, P., Hartnack, S., Dürr, S., 2021. Comparative Study of Free-Roaming Domestic Dog Management and Roaming Behavior Across Four Countries: Chad, Guatemala, Indonesia, and Uganda. *Frontiers in Veterinary Science* 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.617900>

**TITRE : ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE DE CIRCULATION DES CARNIVORES DOMESTIQUES ERRANTS ET DIVAGANTS EN LIEN AVEC LES RISQUES INFECTIEUX ASSOCIES A LA REUNION**

**RÉSUMÉ :**

Cette étude se concentre sur la dynamique des carnivores domestiques errants et divagants à La Réunion, visant à améliorer la gestion de ces populations dans un contexte de risque sanitaire. La présence significative de ces animaux sur l'île suscite des préoccupations liées à l'introduction potentielle du virus de la rage et à la transmission de maladies zoonotiques et vétérinaires. Les premiers résultats, basés sur le géopositionnement satellitaire de trois chiens errants et deux chiens divagants, permettent de mieux comprendre leur dynamique spatiale et temporelle. Cette étude analyse les domaines vitaux des chiens pour évaluer leur aire de répartition, tenant compte de leur mobilité et des caractéristiques des paysages explorés. Elle révèle des variations individuelles dans l'utilisation de l'espace ainsi que des différences de comportement selon les moments de la journée. Une méthodologie a été développée pour évaluer la taille et la composition des populations de carnivores domestiques dans cinq zones distinctes de l'île. Les résultats mettent en lumière une corrélation entre l'état de santé précaire des animaux et leur tendance à la divagation, ainsi qu'une variabilité significative de la densité des populations selon les régions géographiques. Enfin, une étude de cas sur le rôle épidémiologique des chiens dans la transmission de la néosporose au sein d'une zone d'élevage de ruminants illustre l'application pratique de ces méthodes d'analyse. Elle souligne les risques potentiels liés à la circulation des animaux dans des environnements sensibles. Ces résultats sont essentiels pour développer des stratégies de gestion visant à réduire les risques sanitaires et à promouvoir le bien-être animal à La Réunion.

**TITLE : STUDY ON THE CIRCULATION DYNAMICS OF STRAY AND ROAMING DOMESTIC CARNIVORES AND THEIR ASSOCIATED INFECTIOUS RISKS IN REUNION**

**ABSTRACT :**

This study focuses on the dynamics of stray and roaming carnivores in Reunion Island, aiming to improve the management of these populations in a context of public health risks. The significant presence of these animals on the island raises concerns about the potential introduction of rabies virus and the transmission of zoonotic and veterinary diseases. Initial findings, based on satellite tracking of three stray dogs and two roaming dogs that belongs to someone, enhance our understanding of their spatial and temporal dynamics. The study analyzes the vital ranges of dogs to assess their distribution areas, taking into account their mobility and the characteristics of the landscapes they inhabit. It reveals individual variations in space use and behavioral differences depending on the time of day. A methodology has been developed to assess the size and composition of domestic carnivore populations in five distinct zones of the island. The results highlight a correlation between the poor health status of animals and their tendency to roam, as well as significant variability in population density across geographic regions. Lastly, a case study on the epidemiological role of dogs in the transmission of neosporosis within a cattle farming area demonstrates the practical application of these analytical methods. It underscores potential risks associated with animal movement in sensitive environments. These findings are crucial for developing management strategies aimed at reducing health risks and promoting animal welfare in Reunion Island.