

INFESTATIONS PAR PULEX IRRITANS DANS LES ELEVAGES DE PETITS RUMINANTS DU SUD-OUEST DE LA FRANCE : EPIDEMIOLOGIE ET RECHERCHE D'AGENTS PATHOGENES ZONOTIQUES

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

GOYARD Célestine, Marie, Sophie

Et

LAMBERT Matthias, Pascal

Directrice de thèse : Mme Emilie BOUHSIRA

JURY

PRESIDENT :
M. Alexis VALENTIN

Professeur à l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
Mme Emilie BOUHSIRA
M. Emmanuel LIENARD

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

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

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

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

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

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

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

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

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

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

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
- M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
- M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
- Mme **DEBREUQUE Maud**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
- Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
- Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
- Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
- Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **RAMON PORTUGAL Félipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*

REMERCIEMENTS

A notre jury de thèse,

Monsieur le Professeur Alexis Valentin,

Professeur des Universités,

Praticien hospitalier,

Zoologie et Parasitologie, Université Paul Sabatier de Toulouse,

Service de Parasitologie et de Mycologie, Institut Fédératif de Biologie, CHU de Toulouse,

Qui nous a fait l'honneur de présider notre jury de thèse,

Hommages respectueux.

Madame la Docteure Emilie Bouhsira,

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Parasitologie et Maladies Parasitaires

Qui a accepté la direction de nos travaux de thèse. Qu'elle trouve ici une expression de toute notre reconnaissance et notre gratitude pour la patience, l'engagement, la disponibilité et la bienveillance dont elle a fait preuve à notre égard.

Monsieur le Docteur Emmanuel Liénard,

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Parasitologie et Maladies Parasitaires

Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse,

Sincères remerciements.

A l'ensemble des personnes ayant contribué à la réalisation de ce travail,

Mesdames Anne-Julie Métivier, Laure Gaillard, Elodie Reversat et Céline Pouget,

Responsables des Groupements de Défense Sanitaire du Tarn, de la Lozère, de l'Ariège et de l'Aveyron

Pour leur aide précieuse dans la diffusion du questionnaire auprès des élèves,

Sincères remerciements.

Monsieur Thomas Mazza,

Ingénieur d'études – Master en microbiologie

Service de Parasitologie et Maladies Parasitaires

Pour son aide précieuse dans la réalisation des manipulations de biologie moléculaire,

Sincères remerciements.

Mesdames et Messieurs les élèves ayant pris part à l'étude,

Pour leur contribution à ce travail, sans laquelle rien n'aurait été possible. Merci pour leur gentillesse et leur patience,

Profonde gratitude.

Monsieur Faouzi Lyazrhi,

Maitre de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Statistiques biologiques et Mathématiques

Pour son enthousiasme et son aide dans l'exploitation de nos résultats,

Sincères remerciements.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	21
PARTIE 1 : CLASSIFICATION, MORPHOLOGIE ET BIOLOGIE DES PUCES.....	25
I. Position systématique dans la classification	26
II. Morphologie générale des puces adultes	27
1. Tête	28
A. Les yeux	29
B. Les antennes	29
C. Les cténidies génales et les soies	29
D. L'appareil buccal.....	30
2. Thorax	31
A. Les pattes.....	32
B. Les cténidies thoraciques	32
3. Abdomen	32
A. Le sensillum.....	33
B. Les organes génitaux	33
a. L'appareil génital mâle.....	33
b. L'appareil génital femelle.....	34
4. Particularités morphologiques de <i>Pulex irritans</i>	35
III. Cycle biologique des puces, exemple de <i>Ctenocephalides felis</i>	37
1. Les œufs	38
2. Les larves.....	38
3. Les nymphes ou pupes	39
4. L'imago.....	39
IV. <i>Pulex irritans</i> : particularités biologiques et épidémiologiques	40
1. Conditions environnementales et conduite d'élevage.....	40
2. <i>Pulex irritans</i> chez les animaux sauvages	42
3. <i>Pulex irritans</i> chez les animaux domestiques	43
A. Europe	43
B. Afrique et Moyen-Orient	44
C. Amérique.....	44
4. <i>Pulex irritans</i> chez les animaux de rente.....	44
A. Europe	44
B. Afrique.....	45
C. Moyen Orient	45

PARTIE 2 : IMPORTANCE DE <i>PULEX IRRITANS</i> EN MEDECINE HUMAINE ET VETERINAIRE.....	47
I. Rôles pathogènes directs de <i>Pulex irritans</i>	48
1. Chez l'Homme	48
A. Modalités d'infestation.....	48
B. Signes cliniques chez l'Homme.....	48
2. Chez les animaux : pulicose	49
A. Modifications de l'état général et du comportement.....	49
B. Spoliation sanguine et anémie	50
C. Troubles cutanés : Dermatite Allergique aux Piqûres de Puces	50
II. Rôles pathogènes indirects de <i>Pulex irritans</i> : transmission d'agents pathogènes zoonotiques.....	51
1. Définitions de zoonoses et vecteurs	51
2. Helminthes transmis par <i>Pulex irritans</i>.....	52
A. <i>Dipylidium caninum</i>	52
B. <i>Acanthocheilonema reconditum</i>	53
3. Bactéries transmises par <i>Pulex irritans</i>	54
A. <i>Yersinia pestis</i>	54
a. La peste : historique et épidémiologie.....	54
b. Transmission de <i>Yersinia pestis</i>	55
c. Le rôle de <i>Pulex irritans</i> dans la transmission de la peste.....	56
B. <i>Rickettsia</i> spp.....	57
a. <i>Rickettsia typhi</i>	57
b. <i>Rickettsia felis</i>	58
C. <i>Bartonella</i> spp.	58
a. Généralités.....	58
b. <i>Bartonella clarridgeiae</i>	60
c. <i>Bartonella melophagi</i>	60
d. <i>Bartonella quintana</i>	61
e. <i>Bartonella rochalimae</i>	61
f. <i>Bartonella vinsonii</i> subsp. <i>berkhoffii</i>	62
g. Autres espèces de Bartonelles	63
h. Bartonelles chez les ruminants	63
III. La lutte contre les puces.....	65
1. Lutte chimique et hygiénique	65
2. Les grandes classes de molécules utilisées	66
A. Les régulateurs de croissance	66

B. Les molécules adulticides	67
3. Exemples de lutte contre <i>Pulex irritans</i> en élevage	69
PARTIE 3 : PULEX IRRITANS DANS LES ELEVAGES DE PETITS RUMINANTS : ENQUETE EPIDEMIOLOGIQUE ET RECHERCHE D'AGENTS PATHOGENES ZOOTIQUES	71
I. Objectifs de l'étude	72
II. Données épidémiologiques via un questionnaire proposé aux éleveurs	72
1. Matériels et méthodes : élaboration du questionnaire	73
A. Généralités	73
B. Conduite d'élevage	74
C. Hygiène	74
D. Prophylaxie	74
E. Caractérisation de l'infestation par les puces	75
2. Résultats	76
A. Cartographie des élevages inclus dans l'étude	76
B. Description des élevages concernés	80
a. Type de production	80
b. Présence d'autres animaux sur l'exploitation	81
i. Animaux de compagnie	81
ii. Autres animaux de rente	82
c. Foyer à proximité du lieu d'élevage	82
d. Gestion de la litière	83
e. Traitements antiparasitaires	85
i. Chez les petits ruminants	85
ii. Chez les animaux de compagnie	88
C. Caractérisation et gestion des infestations par les puces	90
a. Evaluation des effets psychologiques causés par les infestations	90
b. Caractérisation de la nuisance subie par les éleveurs	91
i. Ancienneté de l'infestation	91
ii. Caractérisation de la nuisance en lien avec la gestion des troupeaux	91
iii. Localisation des puces retrouvées dans les élevages infestés	93
c. Conséquences des infestations par les puces	94
i. Chez les petits ruminants	94
ii. Chez les humains	95
d. Hypothèse de l'origine de l'infestation dans les élevages touchés	97
e. Pratiques d'élevage : hygiène et prévention dans les bâtiments	99
i. Plan de lutte mis en œuvre face à l'infestation	99
ii. Curage du fumier	102

iii.	Désinfection des bâtiments d'élevage	103
iv.	Traitements insecticides dans les bâtiments d'élevage.....	105
D.	Bilan	108
III.	Collecte et identification des échantillons et recherche d'ADN de <i>Bartonella</i> spp.	109
1.	Matériels et méthodes	109
A.	Collecte de puces dans les élevages	109
a.	Lieux de prélèvement	109
b.	Méthodologie de la collecte.....	110
i.	Méthode de prélèvement	110
ii.	Méthode de conservation.....	110
B.	Observation microscopique et identification	111
C.	Recherche d'agents pathogènes	112
a.	Extraction d'ADN	112
b.	Amplification en chaîne par polymérase (ou PCR).....	113
i.	Amorces utilisées.....	114
ii.	Préparation des échantillons pour la PCR	114
iii.	Caractéristiques des cycles de PCR.....	114
iv.	Migration et révélation des produits de PCR.....	115
2.	Résultats	116
A.	Identification et sexage des puces prélevées	116
B.	Recherche des agents pathogènes	118
IV.	Discussions et perspectives	121
1.	Le questionnaire : ses avantages et ses limites	121
2.	Données épidémiologiques concernant les infestations par <i>Pulex irritans</i> dans les élevages de petits ruminants	122
A.	Evolution du nombre de cas	122
B.	Répartition géographique	123
C.	Conditions climatiques et environnementales	123
D.	Facteurs de risques	124
a.	Type de production.....	125
b.	La gestion de la litière	125
c.	Catégories d'âges des animaux	126
d.	Gestion des animaux.....	126
E.	Transmission inter et intra-élevage et rôle de la faune sauvage	127
3.	L'espèce <i>Pulex irritans</i>	129
4.	Les conséquences des infestations	130
A.	Impacts chez l'Homme et les animaux	130

a.	Conséquences cliniques.....	130
i.	Chez les animaux.....	130
ii.	Chez l'Homme.....	130
b.	Impact psychologique.....	131
B.	Transmission d'agents pathogènes zoonotiques	132
C.	Utilisation d'antiparasitaires et leurs conséquences.....	133
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	139
	ANNEXES	151

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Classification des Siphonaptères	27
Figure 2 : Morphologie générale de <i>C. felis</i> , vue latérale	28
Figure 3-A : Morphologie de la tête d'un mâle <i>C. felis</i> , vue latérale, microscopie photonique	30
Figure 3-B : Morphologie de la tête d'une femelle <i>P. irritans</i> , vue latérale.....	30
Figure 4 : Appareil piqueur de <i>C. felis</i> , vue latérale, microscopie photonique.....	31
Figure 5 : Patte III de femelle <i>P. irritans</i> observée à la loupe binoculaire.....	32
Figure 6 : <i>Sensillum</i> de <i>P. irritans</i> femelle	33
Figure 7 : Appareil génital mâle de <i>C. felis</i> , vue latérale, microscopie photonique	34
Figure 8 - A : Appareil génital femelle de <i>C. felis</i> , vue latérale, microscopie photonique	35
Figure 8 - B : Schéma de l'appareil génital femelle de <i>C. felis</i>	35
Figure 9 : Particularités morphologiques de <i>P. irritans</i> , microscopie photonique.....	36
Figure 10 : Cycle biologique de <i>C. felis</i> , de l'œuf à l'état adulte.....	37
Figure 11 : Distribution saisonnière des infestations par <i>Pulex irritans</i> chez les brebis et dans les zones résidentielles des villages de la province de Kurdistan en Iran	41
Figure 12 : Vésicules sur une zone exposée aux piqûres de puces (<i>P. irritans</i>) sur l'avant-bras	49
Figure 13 : Répartition des foyers naturels de peste dans le monde en 2016.....	55
Figure 14 : Carte des départements touchés par les infestations actuellement et par le passé, en région Occitanie	76
Figure 15 : Répartition géographique des élevages inclus dans l'étude.....	78
Figure 16 : Carte des élevages infestés actuels et passés dans les départements inclus dans l'étude.....	79
Figure 17 : Proportion d'élevages infestés élevant d'autres animaux de rente sur l'exploitation	82
Figure 18 : Provenance de la paille utilisée pour la litière dans les élevages indemnes et infestés par les puces	84
Figure 19 : Lieu de stockage de la paille ou litière dans les élevages indemnes et infestés par les puces	84
Figure 20 : Répartition des fréquences de traitement antiparasitaire interne des petits ruminants parmi les élevages infestés et indemnes qui effectuent des traitements systématiques	85
Figure 21 : Classes chimiques des antiparasitaires internes utilisés sur les petits ruminants .	86
Figure 22 : Fréquence des traitements antiparasitaires externes utilisés sur les petits ruminants parmi les élevages infestés et indemnes qui effectuent des traitements systématiques	87
Figure 23 : Molécules des antiparasitaires externes utilisés sur les petits ruminants.....	87
Figure 24 - A : Désagrément causé par l'infestation dans les élevages infestés	90
Figure 24 - B : Motivation à éradiquer les puces dans les élevages infestés	90
Figure 25 : Ancienneté de l'infestation par les puces dans les élevages actuellement infestés	91
Figure 26 : Pourcentages d'élevages infestés pour lesquels la nuisance liée aux puces est considérée comme maximale au cours de l'année	92
Figure 27 : Pourcentages d'élevages infestés pour lesquels la nuisance liée aux puces est considérée comme maximale et les animaux sont à l'intérieur au cours de l'année.....	92

Figure 28 : Pourcentages d'élevages infestés pour lesquels la nuisance liée aux puces est considérée comme maximale et les animaux sont à l'extérieur au cours de l'année	92
Figure 29 : Répartition des puces retrouvées dans les élevages infestés	93
Figure 30 : Conséquences cliniques observées chez les petits ruminants dans les élevages infestés.....	94
Figure 31 : Catégories d'animaux préférentiellement touchés par les puces dans les élevages infestés.....	95
Figure 32 : Conséquences cliniques observées dans les élevages infestés chez les humains : l'éleveur.se et/ou ses proches	95
Figure 33 : Catégories d'individus préférentiellement touchés par les puces dans les élevages infestés	96
Figure 34 : Répartition des hypothèses de l'origine de l'infestation selon l'éleveur dans les élevages infestés.....	97
Figure 35 : Mesures de lutte effectuées dans les élevages infestés actuellement et par le passé	100
Figure 36 : Nombre de mesure de lutte mises en œuvre simultanément : comparaison entre élevages infestés actuellement et par le passé.....	102
Figure 37 : Comparaison des fréquences de curage du fumier dans les élevages infestés et indemnes de puces.....	103
Figure 38 : Types de désinfectants utilisés dans les bâtiments des élevages infestés et indemnes de puces	104
Figure 39 : Fréquence de traitement insecticide dans les bâtiments des élevages infestés et indemnes de puces.....	106
Figure 40 : Provenance par département des échantillons de puces collectées	109
Figure 41 : Protocole du kit NucleoSpin® Tissue (Macherey-Nagel)	113
Figure 42 : Critères morphologiques céphaliques chez une femelle <i>P. irritans</i> observée à la loupe binoculaire	116
Figure 43 – B : Femelle <i>P. irritans</i> observée à la loupe binoculaire.....	117
Figure 43 – A : Mâle <i>P. irritans</i> observé à la loupe binoculaire	117
Figure 44 : Gel d'électrophorèse des amplicons d'ADN de <i>P. irritans</i> avec les amorces Cf18S	119
Figure 45 : Gel d'électrophorèse des amplicons pour <i>Bartonella</i> spp.	119

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Espèces de <i>Bartonella</i> spp. zoonotiques (Homme réservoir ou hôte accidentel) dont <i>P. irritans</i> est vecteur potentiel ou les petits ruminants sont réservoirs.....	59
Tableau 2 : Les principaux régulateurs de croissance disponibles pour traiter les locaux en élevage ovin (murs, sols, mangeoires) et les habitations humaines	67
Tableau 3 : Les principaux insecticides disponibles pour traiter les locaux en élevage ovins (murs, sols, mangeoires) et les habitations humaines	68
Tableau 4 : Les principaux insecticides utilisables chez les ovins en solution externe pour traiter contre les puces.....	68
Tableau 5 : Nombre d'élevages concernés dans les départements inclus dans l'étude.....	77
Tableau 6 : Distribution des types de production parmi les réponses obtenues au questionnaire	81
Tableau 7 : Présence de chiens et de chats dans les élevages infestés et indemnes de puces. 81	
Tableau 8 : Evaluation de l'infestation du foyer de l'exploitant en fonction de la proximité entre l'habitation et les bâtiments d'élevage	83
Tableau 9 : Traitement antiparasitaire externe chez les petits ruminants dans les élevages indemnes et infestés par les puces.....	86
Tableau 10 : Proportions d'élevages traitant leurs animaux de compagnie aux antiparasitaires	88
Tableau 11 : Répartition du nombre de signes cliniques chez les petits ruminants, dans les élevages où ils sont observés.....	94
Tableau 12 : Répartition du nombre de signes cliniques chez les êtres humains dans les élevages où ils sont observés.....	96
Tableau 13 : Durée de l'infestation par les puces chez les éleveurs infestés par le passé.....	99
Tableau 14 : Résumé des différentes mesures de lutte mises en place dans les élevages anciennement infestés	101
Tableau 15 : Proportion d'élevages réalisant une désinfection systématique dans les bâtiments infestés et indemnes de puces.....	103
Tableau 16 : Proportion d'élevages ayant réalisé une désinsectisation dans les bâtiments d'élevage infestés et indemnes de puces	105
Tableau 17 : Classes chimiques d'insecticides utilisés dans les bâtiments d'élevage.....	106
Tableau 18 : Lettres associées à chaque site de prélèvement pour le codage des échantillons	111
Tableau 19 : Thermo-profils utilisés pour chaque PCR.....	115
Tableau 20 : Nombre de puces collectées dans chaque élevage en fonction de leurs lieux de prélèvement.	117
Tableau 21 : Répartition des puces en fonction des lieux de prélèvement et de leur sexe... 118	
Tableau 22 : Nombre de puces sélectionnées pour l'extraction d'ADN en fonction de leurs lieux de prélèvement et leur sexe..	118

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire proposé aux éleveurs de petits ruminants d'Ariège, Aveyron, Lozère et Tarn	152
Annexe 2-A : Capture d'écran du logiciel Mymaps de Google Maps® - ensemble des élevages inclus dans l'étude	172
Annexe 2-B : Capture d'écran du logiciel Mymaps de Google Maps® - élevages actuellement infestés et infestés par le passé	172
Annexe 3 : Fiche d'aide au calcul d'une distance entre deux points à partir de leurs coordonnées GPS.....	173

INTRODUCTION

Les puces sont des insectes aptères appartenant à l'ordre des Siphonaptères. Elles parasitent les mammifères, y compris l'Homme, et les oiseaux. Cet ordre compte plus de 2500 espèces, réparties en 18 familles et regroupant plus de 200 genres. La majorité des espèces d'intérêt médical et vétérinaire appartient à deux familles : celle des Pulicidés et celle des Sarcopsyllidés. Les puces sont cosmopolites et décrites sur tous les continents, y compris l'Antarctique.

Des puces du genre *Palaeopsylla* fossilisées dans l'ambre, datant d'il y a plus de 200 millions d'années, ont par ailleurs été retrouvées dans des sédiments oligocènes baltiques, et sont très proches morphologiquement de la puce moderne. Ces informations attestent de l'ancienneté de ces arthropodes.

Les puces sont strictement hématophages au stade adulte et ainsi à l'origine de nuisances directes (prurit, spoliation sanguine, anémie ...) et indirectes (transmission d'agents pathogènes, pour certains zoonotiques). Parmi les agents vectorisés par les puces, le plus pathogène est la bactérie *Yersinia pestis*, agent de la peste bubonique et pulmonaire, qui a décimé plus d'un quart de la population européenne au XIV^{ème} siècle. Les puces peuvent également transmettre d'autres bactéries, dont certaines appartiennent au genre *Rickettsia*, à l'origine du typhus murin et de la fièvre boutonneuse à puce, et d'autres au genre *Bartonella*, responsables notamment de la Maladie des Griffes du Chat (MGC).

L'espèce *Pulex irritans*, ou « puce de l'Homme » semble provenir d'Amérique Centrale et du Sud, où plusieurs espèces voisines appartenant également au genre *Pulex* y ont été décrites. La colonisation de l'Europe occidentale par ce parasite n'est pas claire, mais il semblerait que ces parasites aient été introduits par l'Homme, via la route béringienne et asiatique empruntée plusieurs fois pendant la post-glaciation, il y a 14 000 ans.

Cette espèce synanthropique est à l'origine d'infestations importantes et particulièrement difficiles à gérer dans les élevages de petits ruminants. Elle semble poser problème aux éleveurs, d'un point de vue sanitaire, et est à l'origine de détresse psychologique et sociale. Les études et la littérature scientifique portant sur ce sujet sont, d'après nos recherches, très rares, et ne suffisent pas à comprendre ce phénomène ni à proposer des solutions aux éleveurs touchés.

La première partie de cette étude est une synthèse bibliographique portant dans un premier temps sur l'exemple de *Ctenocephalides felis*, espèce de puce la plus documentée à ce jour. Cette partie permet de rappeler les données de classification, de morphologie et de biologie de *C. felis*, ainsi que les spécificités liées à *P. irritans*. Dans un second temps, cette synthèse

s'attachera à détailler l'implication médicale et vétérinaire de *P. irritans*, notamment ses rôles pathogènes directs et indirects chez les animaux et chez l'Homme.

La seconde partie de cette étude correspond à une enquête épidémiologique sur les infestations par *P. irritans* dans les élevages de petits ruminants du Sud-Ouest de la France. Après avoir détaillé les objectifs de l'étude, nous présenterons un état des lieux des infestations dans les départements du Tarn, de la Lozère, de l'Aveyron et de l'Ariège, en essayant de comprendre les éventuels facteurs de risques associés. Nous exposerons enfin les résultats de nos analyses sur les échantillons de puces récoltés : l'identification des espèces et du sexe des individus et la recherche d'agents pathogènes zoonotiques appartenant au genre *Bartonella* par biologie moléculaire.

**PARTIE 1 : CLASSIFICATION, MORPHOLOGIE
ET BIOLOGIE DES PUCES**

Les puces sont des ectoparasites des mammifères et des oiseaux. A l'état adulte, elles peuvent, en fonction des espèces, être des parasites permanents de leurs hôtes (puces de fourrure) ou les parasiter de manière intermittente, uniquement lors du repas sanguin et se retrouvant alors plutôt dans le nid ou la litière (puces nidicoles). En plus de leur rôle pathogène direct, lié à leur hématophagie, les puces peuvent également être vectrices d'agents pathogènes dont certains sont zoonotiques.

Dans cette première partie bibliographique, nous avons regroupé les informations descriptives disponibles dans la littérature sur la morphologie et la biologie des puces. Nous avons choisi de présenter le cycle biologique de *Ctenocephalides felis*, ou « puce du chat », espèce dont la biologie est parfaitement connue. Nous nous sommes ensuite focalisés sur l'espèce *Pulex irritans*, ou « puce de l'Homme » (biologie, hôtes...).

I. Position systématique dans la classification

Les puces appartiennent à l'embranchement des Arthropodes (Figure 1). Leur corps est recouvert d'une cuticule composée de chitine, constituant leur exosquelette. Il est segmenté en une succession de métamères, et porte des appendices articulés. Les puces sont des arthropodes Mandibulates (ou Antennates) car elles portent sur leur tête une paire de mandibules, des appendices très chitinisés. Elles font partie de la super-classe des Hexapodes, et de la classe des Insectes. Elles possèdent ainsi un corps segmenté en trois tagmes bien distincts : la tête, le thorax, divisé en trois métamères munis chacun d'une paire de pattes, et l'abdomen. Leur système respiratoire bien développé est composé d'un ensemble de trachées ouvertes vers l'extérieur par des stigmates respiratoires.

Les puces forment l'ordre des Siphonaptères, qui comprend environ 2600 espèces. Cet ordre appartient lui-même à l'infra-classe des Ptérygotes (étymologiquement insectes ailés), malgré leur caractère aptère (absence d'ailes). Elles seraient ainsi devenues aptères, secondairement au cours de l'évolution, par adaptation au parasitisme. Les puces sont des insectes holométaboles, c'est-à-dire qu'une métamorphose complète a lieu au cours de leur cycle, passant par 4 stades : l'œuf, les stades larves, la nymphe et l'imago. La morphologie et la biologie des larves diffèrent radicalement de celles de l'adulte.

Les différentes espèces sont réparties en cinq superfamilles regroupant 18 familles. Parmi les différentes familles, cinq d'entre elles comportent des genres qui sont impliqués dans la

transmission d'agents pathogènes tels que celui de la peste (*Yersinia pestis*) ou du typhus murin (*Rickettsia typhi*). Les puces sont également à l'origine de nuisances directes dues à leurs piqûres. La famille des Pulicidés regroupe notamment les espèces *Ctenocephalides felis*, *Ctenocephalides canis* et *Pulex irritans*, appelées respectivement puce du Chat, du Chien et de l'Homme. Les principales espèces de puces piquant ou parasitant l'Homme sont le plus souvent *P. irritans*, *C. felis*, *Tunga penetrans* et *Xenopsylla cheopis*, bien que d'autres espèces aient également été décrites.

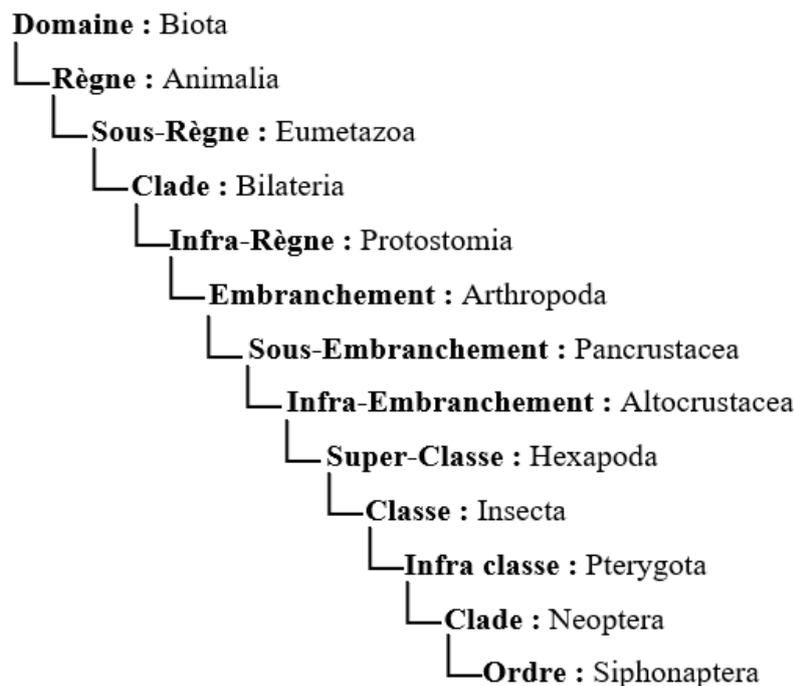


Figure 1 : Classification des Siphonaptères (<https://inpn.mnhn.fr>)

II. Morphologie générale des puces adultes

(Beaucournu et al., 1990 ; Duvallet et al., 2017 ; Moulinier, 2002)

Environ 95 % des espèces de puces parasitent les mammifères, et 5 % les oiseaux. « Siphonaptère » vient du mot latin « siphon » signifiant « tube » (appareil buccal en forme de siphon), et de « aptera » signifiant l'absence d'ailes. La morphologie des puces est adaptée à leur mode de vie parasite (Figure 2) : leur corps est aplati latéro-latéralement, ce qui facilite notamment la progression des puces de fourrure dans le pelage de leurs hôtes ; elles possèdent trois paires de pattes, les postérieures étant bien développées et adaptées au saut ; elles portent des pièces buccales piqueuses, les deux sexes étant hématophages stricts à l'état adulte. Leur

cuticule est de couleur brune à jaunâtre, et possède des soies et des épines. L'abdomen, divisé en onze segments, contient les organes copulateurs sur les segments VIII, IX et X. A l'état adulte, les puces mesurent entre 1 et 8 mm de long, les mâles étant généralement plus petits que les femelles.

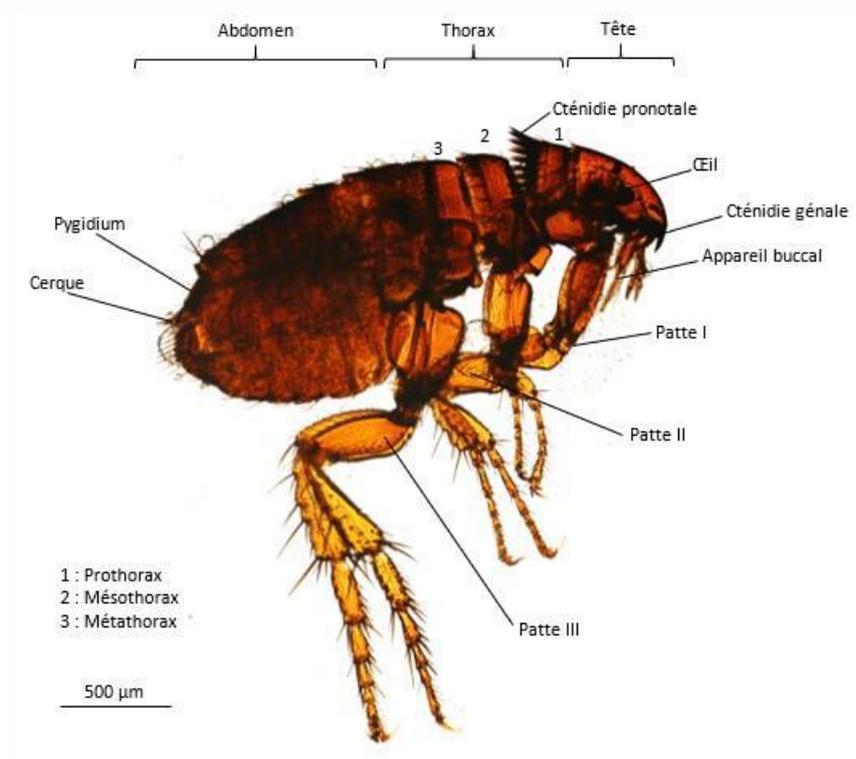


Figure 2 : Morphologie générale de *C. felis*, vue latérale
(Lafon et Serceau, 2019)

1. Tête

La tête, ou capsule céphalique, en forme de carène, est plus ou moins arrondie ou anguleuse selon l'espèce. Elle présente une paire d'yeux, parfois très réduits chez certaines espèces. Des antennes sont présentes, situées dans une gouttière antennaire en arrière des yeux. Des soies peuvent être présentes sur différentes parties de la capsule céphalique. L'appareil buccal de type piqueur est adapté à la perforation de la peau et à la succion du sang. Chez le mâle, l'occiput est parfois creusé longitudinalement pour former le sillon occipital, participant à la fixation de la femelle pendant la copulation.

A. Les yeux

La tête présente une paire d'yeux, plus ou moins développés selon les espèces et pouvant même être vestigiaux ou absents (Beaucournu et al., 1990). Leur description diffère selon les auteurs. Pour certains, ce sont des yeux simples munis d'une lentille et d'une couche pigmentée (Duvallat et al., 2017), ou réduits à une seule grosse ommatidie. Pour d'autres ce sont des yeux composés extrêmement modifiés (Medvedev, 2017).

B. Les antennes

Les antennes sont de petite dimension et se trouvent dans les gouttières antennaires situées en arrière de chaque œil. Chaque antenne est composée de trois articles : deux articles basaux, le scape et le pédicelle, puis la massue (ou flagellum), composée de 10 segments. Les antennes sont plus développées chez le mâle que chez la femelle. Le mâle possède parfois une plage de microstructures en ventouses sur la face interne des antennes pour favoriser le maintien de la femelle pendant la copulation. Les deux gouttières peuvent se rejoindre dorsalement selon l'espèce ou le sexe pour former la suture inter-antennaire qui sépare le front de l'occiput.

C. Les cténidies génales et les soies

La *gena*, qui forme la partie postéro-ventrale de la tête, peut porter une rangée d'épines chitineuses plus ou moins parallèles et de taille et forme variables selon les espèces : c'est la cténidie (ou peigne) génale. Le rôle des cténidies est discuté. Elles semblent protéger les articulations entre les pièces buccales ainsi qu'entre les segments thoracique et abdominal (Medvedev, 2017). Enfin, la solidité de ces peignes sclérifiés confère une résistance à l'écrasement lors du toilettage de l'hôte. Des soies peuvent être présentes sur les différentes parties de la capsule céphalique. Le nom de ces soies varie selon leur localisation : soies frontales lorsqu'elles se situent en avant de l'antenne et au-dessus de l'angle oral ; soies occipitales (ou post-céphaliques) pour celles situées au-dessus et en arrière de l'antenne ; soies oculaires (ou préoculaires) pour celles localisées crânialement à l'œil. Leurs fonctions seraient d'assurer également la protection des articulations ainsi que la facilitation du mouvement des puces entre les poils de l'hôte (Medvedev, 2017).

Ces différents éléments morphologiques de la capsule céphalique constituent des éléments importants de diagnose. Ils sont présentés dans les Figures 3-A et 3-B ci-dessous pour les espèces *C. felis* et *P. irritans*.

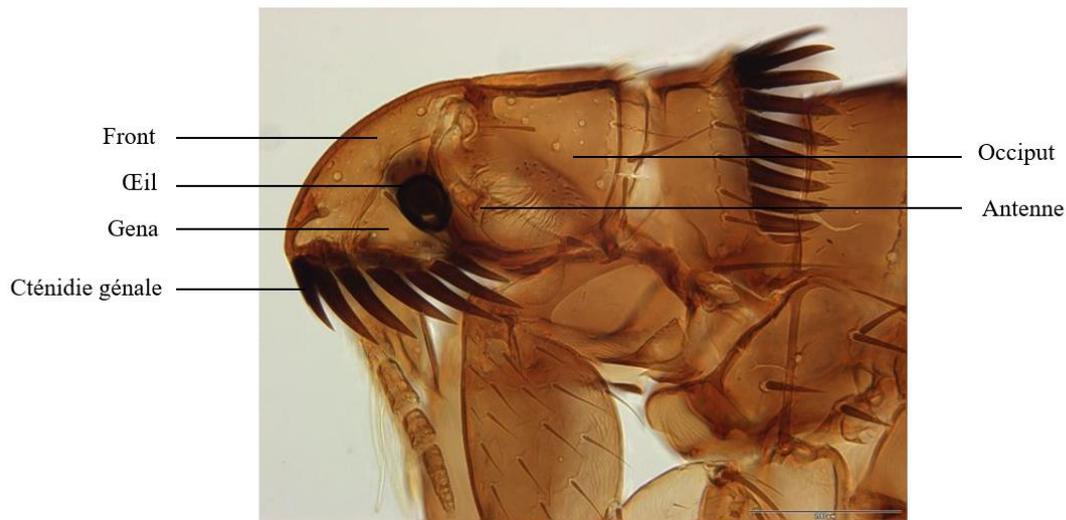


Figure 3-A : Morphologie de la tête d'un mâle *C. felis*, vue latérale, microscopie photonique
(<https://biology.byu.edu>)

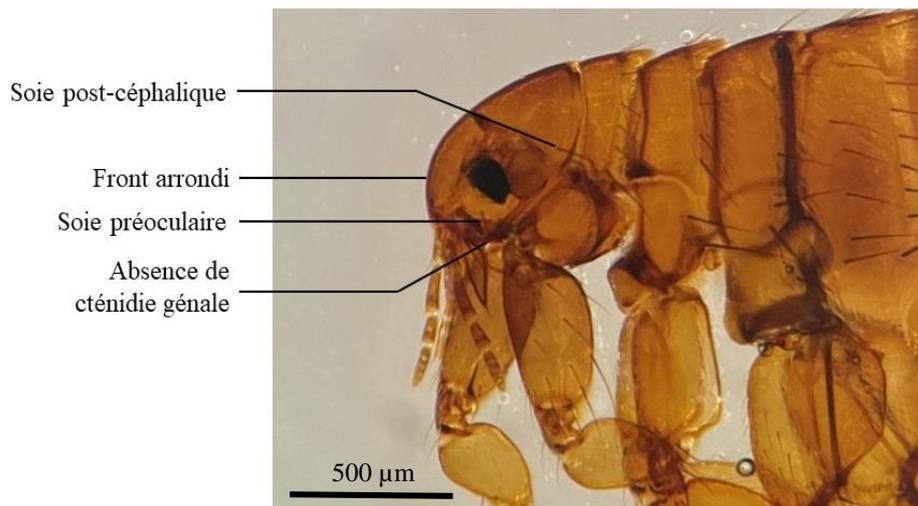


Figure 3-B : Morphologie de la tête d'une femelle *P. irritans*, vue latérale (photographie originale)

D. L'appareil buccal

Les puces adultes étant hématophages, elles possèdent un appareil buccal de type piqueur (Figure 4). Celui-ci est situé ventralement. Les pièces buccales perforantes sont constituées de deux *laciniae* de part et d'autre d'un épipharynx (labre) médian. Les trois pièces sont de même longueur. Le labre est richement innervé et possède de nombreux récepteurs sensoriels. Les *laciniae*, issues des maxilles, sont des lames coupantes chacune percée d'un canal salivaire. La juxtaposition de ces trois éléments constitue le canal alimentaire, par lequel le sang est aspiré.

L'appareil buccal est aussi composé d'un labium court, portant une paire de palpes labiaux. Les palpes labiaux, constitués de cinq segments, sont très développés et creusés d'une gouttière sur leur face interne, pour englober le canal alimentaire et le protéger (Moulinier, 2002). Une paire de palpes maxillaires est présente sur les maxilles. A la base des maxilles se trouve également une paire de stipes. Elle masque la partie proximale de l'appareil buccal, et se dégage vers l'arrière au moment de la piqûre pour dégager les pièces vulnérantes.

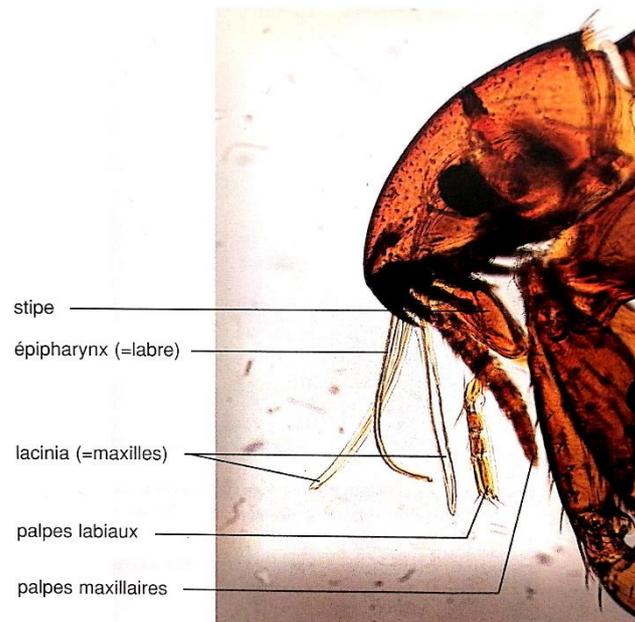


Figure 4 : Appareil piqueur de *C. felis*, vue latérale, microscopie photonique (Franc, 1998)

2. Thorax

Le thorax des puces est divisé en trois segments : le prothorax, le mésothorax et le métathorax. En vue dorsale, il est facile d'individualiser les sclérites dorsales ou tergites, appelées respectivement *pronotum*, *mesonotum* et *metanotum*. Il est au contraire difficile de différencier les sclérites ventrales ou sternites. Ventralement, une baguette pleurale caractéristique traverse le *mesosternum*, et le *metasternum* est divisé en deux au niveau de l'arc pleural. Le premier stigmate se situe sur le métathorax.

A. Les pattes

Le thorax est pourvu de trois paires de pattes, la dernière étant la plus développée et adaptée au saut (Figure 5). Les pattes sont composées de cinq segments : une coxa (hanche large), un trochanter réduit, un fémur, un tibia et un tarse. Le tarse est lui-même divisé en cinq segments, et porte sur le dernier une paire de fortes griffes. La forme des griffes dépend de l'hôte (oiseau ou mammifère) et du type de phanères (plumes ou poils). Cette capacité de saut est utile à la puce lors de l'émergence du cocon, pour infester un nouvel hôte et pour en changer.

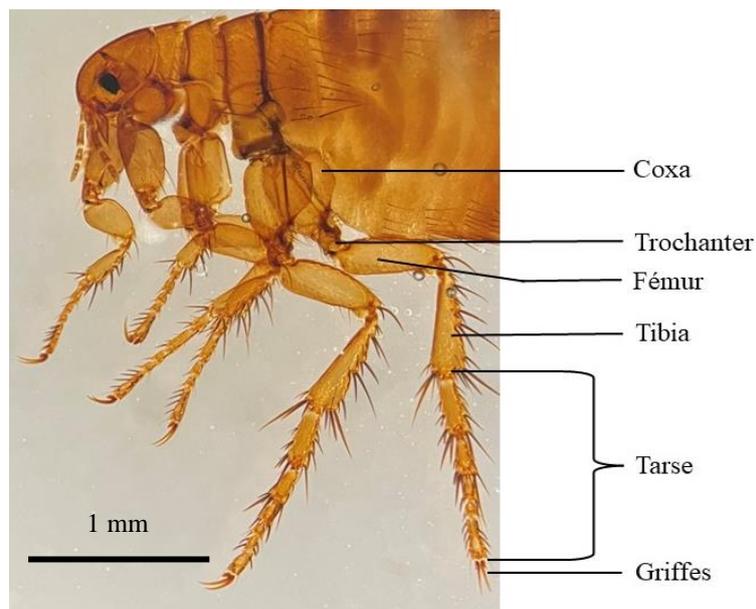


Figure 5 : Patte III de femelle *P. irritans* observée à la loupe binoculaire (photographie originale)

B. Les cténidies thoraciques

Selon les espèces, une cténidie est très souvent présente sur le pronotum, premier segment thoracique. Les pattes sont pourvues de nombreuses soies et épines. Ces cténidies et soies ont les mêmes fonctions que celles situées sur la tête.

3. Abdomen

L'abdomen est composé de dix segments. On ne peut toutefois discerner que huit tergites (dorsaux, de TI à TVIII) et six sternites (ventraux, StII à StVII) qui sont non différenciés. Tergites et sternites sont réunis par des pleurites. Les différents segments se chevauchent et peuvent glisser l'un par rapport à l'autre, ce qui permet la distension de l'abdomen lors du repas

sanguin. Chez la femelle, les faces dorsale et ventrale sont convexes, alors que chez le mâle la face dorsale est presque plate. Les tergites II à VIII portent chacun une paire de stigmates. Les tergites abdominaux peuvent posséder sur leurs bords libres des soies courtes chitinisées et d'aspect triangulaire, appelées spinules, ainsi que des expansions cuticulaires effilées appelées pseudo-soies.

A. Le sensilium

Un tergite caudal (IX ou X selon les auteurs) porte le *sensilium*, organe sensoriel caractéristique des puces (Figure 6). Il est composé de longues soies fines, les trichobothries, rassemblées sur la plaque pygidiale. Cet organe leur permet de détecter les mouvements de l'air ainsi que les vibrations, et permet également la captation d'informations thermiques, hygrométriques et olfactives pour le repérage de l'hôte (Moulinier, 2002). Une grosse soie antépygidiale est située sur le huitième segment, en avant du *sensilium*.

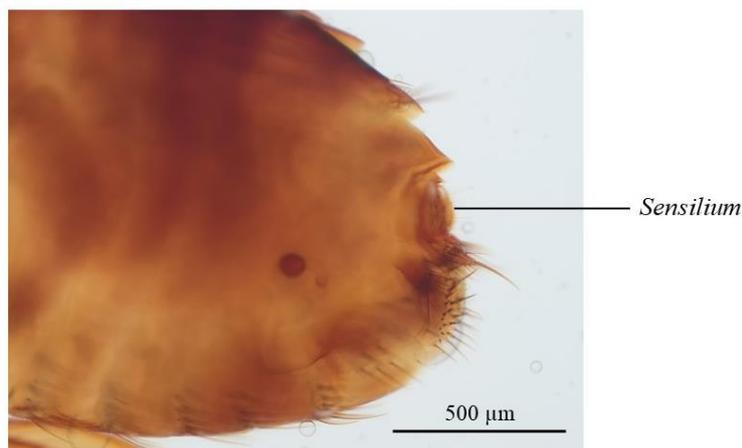


Figure 6 : *Sensilium* de *P. irritans* femelle (photographie originale)

B. Les organes génitaux

Les organes génitaux sont situés au niveau des segments abdominaux VIII, IX et X qui sont modifiés.

a. L'appareil génital mâle

Chez le mâle (Figure 7), l'appareil génital est composé de deux testicules piriformes avec deux spermiductes, d'une vésicule séminale accompagnée de glandes accessoires, et d'un pénis rétractile. Le segment IX est très modifié et a une organisation complexe. Le tergite est transformé en pinces copulatrices, le phallosome, qui a pour rôle le maintien de la femelle

pendant la copulation. De longs conduits enroulés en « cor de chasse » vers l'avant longent ventralement le phallosome. Ce sont des pseudo-tendons chitineux qui cathétérissent les conduits de la femelle lors de la copulation pour amener le sperme dans la spermathèque.

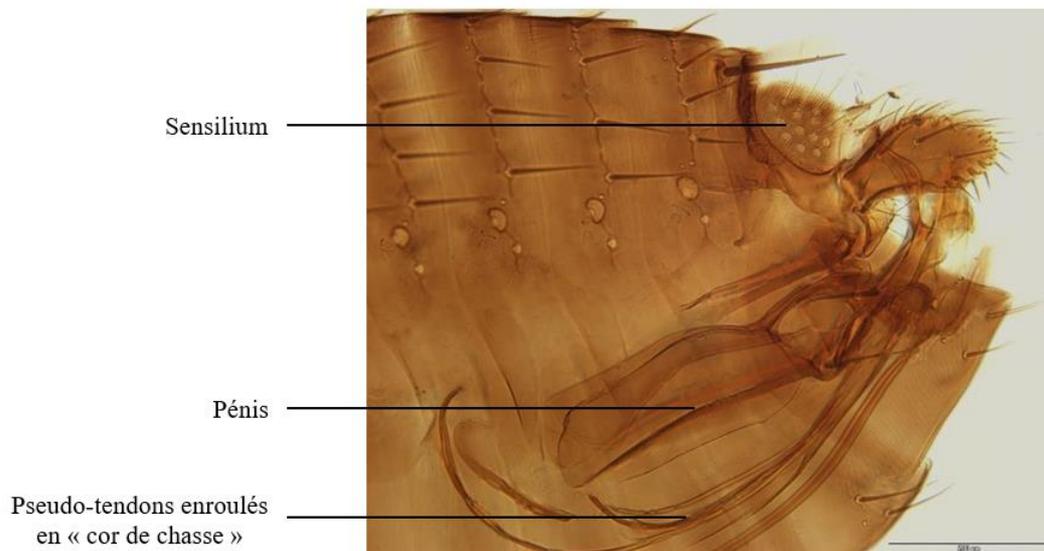


Figure 7 : Appareil génital mâle de *C. felis*, vue latérale, microscopie photonique
(<https://biology.byu.edu>)

b. L'appareil génital femelle

Chez la femelle (Figures 8-A et 8-B), un orifice génital s'ouvrant sur le vagin est présent entre les sternites IX et X. Les ovaires sont formés par les ovarioles, le plus souvent de type panoïstique, et sont reliés au vagin par l'oviducte. La paroi vaginale dorsale contient la bourse copulatrice, lieu de rencontre des ovocytes et des spermatozoïdes. Un conduit aboutit ensuite à la spermathèque qui est constituée de deux chambres, la *bulga* et la *hilla*. Ce réceptacle chitineux est facilement repérable chez les puces femelles, et a pour rôle le stockage des spermatozoïdes. La morphologie de la spermathèque varie avec l'espèce et elle peut parfois être double. Le tergite X porte une paire de courts appendices unisegmentés : les stylets anaux.



Figure 8 - A : Appareil génital femelle de *C. felis*, vue latérale, microscopie photonique (<https://biology.byu.edu>)

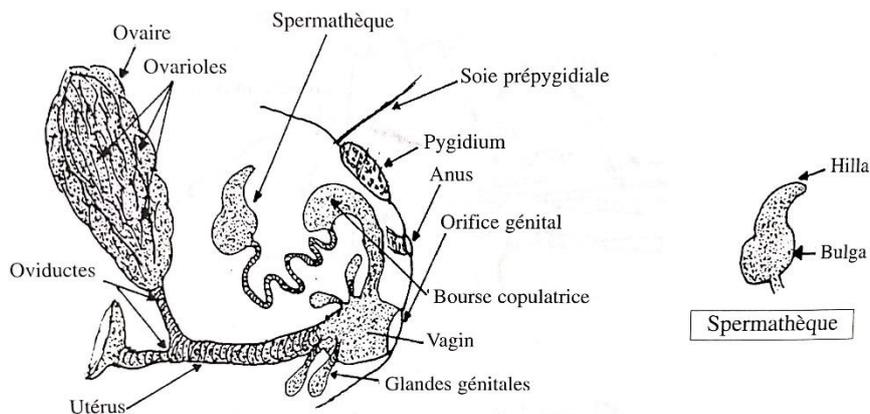


Figure 8 - B : Schéma de l'appareil génital femelle de *C. felis* (Moulinier, 2002)

4. Particularités morphologiques de *Pulex irritans*

Pulex irritans est couramment nommée la puce de l'Homme. Cette espèce appartient à la famille des Pulicidés. Elle mesure entre 2 et 3,5 mm de long. Son front est arrondi et elle possède également des yeux bien développés. Elle ne possède pas de peigne ou cténidie génale, mais uniquement une soie appelée soie préoculaire. Son prothorax ne possède pas non plus de cténidie, mais une soie post-céphalique peut cependant être observée.

Les caractéristiques morphologiques de *P. irritans* sont illustrées ci-dessous (Zurita et al., 2019) :

- Marge antérieure de la tête légèrement arrondie (Figure 9-A)
- Absence de peigne géral et de peigne sur le pronotum (Figure 9-A)
- Asymétrie des massues des antennes (Figure 9-B)
- Présence de trois grandes soies sur la tête : génale, pré-oculaire et post-antennaire (Figure 9-C)
- Sternite VII des femelles présentant un sinus muni de quatre ou cinq soies de chaque côté (Figure 9-D)
- Spermathèque présentant une *bulga* globuleuse plutôt petite, ainsi qu'une *hilla* plus longue que la *bulga* (Figure 9-E)
- Rangée de petites épines sur la coxa caudale formant une plaque : 8 à 12 épines chez la femelle et 7 à 10 chez le mâle (Figure 9-F et 9-G)
- Pincés génitales du mâle avec un premier processus très long et recouvrant complètement les deuxième et troisième processus (Figure 9-H)

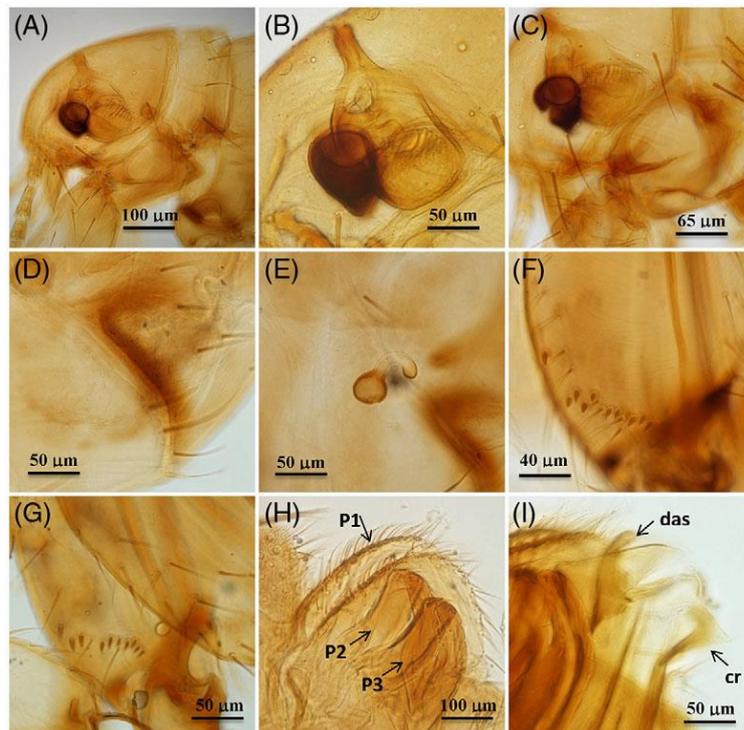


Figure 9 : Particularités morphologiques de *P. irritans*, microscopie photonique (Zurita et al., 2019)

III. Cycle biologique des puces, exemple de *Ctenocephalides felis*

Le cycle biologique de la puce du chat, *C. felis*, est détaillé dans cette partie. Cette espèce étant plus étudiée que *P. irritans*, les connaissances à son sujet sont plus complètes. Nous reviendrons à la fin de cette partie sur les particularités de *P. irritans*.

La puce du chat est une puce de fourrure et donc sédentaire de son hôte. Ainsi, le repas sanguin est en général suivi par l'accouplement puis par la ponte 48 heures environ après le repas (Moulinier, 2002). Les conditions environnementales, comme la température et l'humidité, ont un rôle dans le bon déroulement du cycle. Celui-ci est également conditionné par la présence ou l'absence de l'hôte. Tous les stades du cycle sont sensibles à la dessiccation. Dans les conditions optimales, le cycle de *C. felis* peut se dérouler en 15 à 21 jours. Il peut en revanche durer jusqu'à 6 mois (Figure 10). En moyenne, dans les conditions habituelles des foyers, il sera complété en 3 à 8 semaines (Blagburn et Dryden, 2009). Une humidité relative de 85 % et une température de 25°C semblent être les conditions optimales pour le déroulement du cycle de *C. felis* (Beugnet et Halos, 2015).

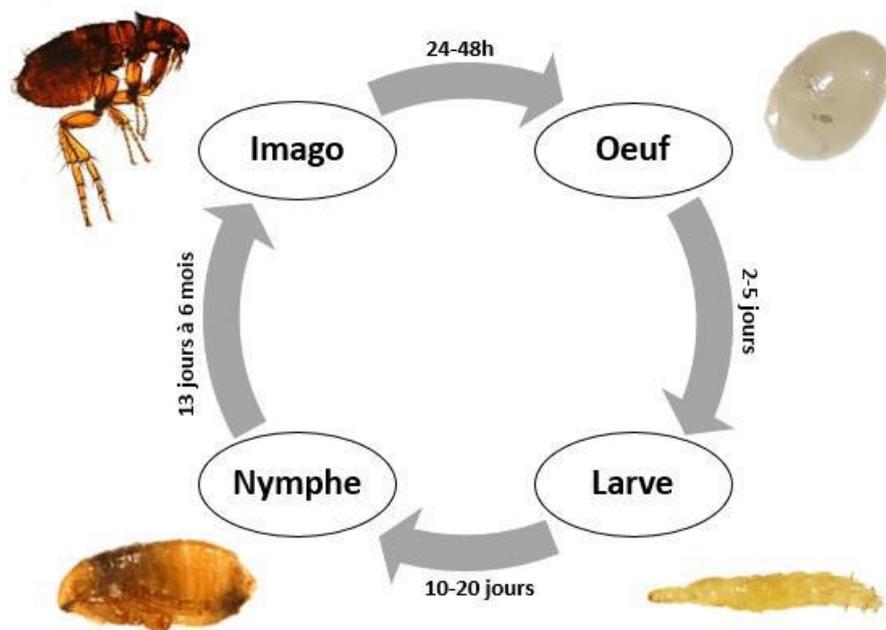


Figure 10 : Cycle biologique de *C. felis*, de l'œuf à l'état adulte (Lafon et Serceau, 2019)

1. Les œufs

Les œufs sont de forme ovoïde, de couleur blanche ou jaune et mesurent 0,3 à 0,5 mm. Chez la puce, après un repas sanguin initial, il n'y a pas de cycle gonotrophique, c'est-à-dire que les œufs peuvent être pondus en continu, sans forcément qu'il y ait d'autres repas sanguins. Ils sont pondus par la femelle un par un et directement dans le pelage. Ils n'y restent collés qu'une ou deux heures puis tombent au sol (Beugnet et Halos, 2015). Les œufs sont recouverts d'une fine sécrétion collante, qui permet à la poussière de s'y accumuler pour les dissimuler et les protéger (Duvallet et al., 2017). Une fois tombés au sol, ils éclosent en 1 à 10 jours selon les conditions d'humidité et de température (Blagburn et Dryden, 2009). Ils sont très sensibles à la dessiccation. Par exemple, 50 % des œufs éclosent à une température de 35°C et une humidité relative de 75 %. Aucune éclosion n'est en revanche observée si l'humidité relative est réduite à 33 ou 50 % (Dryden et Rust, 1994).

2. Les larves

Après l'embryogenèse, soit une semaine en moyenne après la ponte, une larve de premier stade émerge. Celle-ci est blanchâtre, vermiforme, sans appendices locomoteurs et mesure 0,5 mm. Elle est lucifuge et anophtalme mais possède des organes sensoriels. La larve est détritiphage et possède des pièces buccales de type broyeur. Elle se nourrit de matière organique telle que les fèces de puces adultes présentes dans la litière et contenant du sang plus ou moins digéré, mais aussi de squames et de débris alimentaires. Les larves peuvent déclencher chez la puce adulte un réflexe de défécation en stimulant leur *sensillum* (Molyneux, 1967). La larve est extrêmement sensible à la dessiccation et à la température : une humidité relative inférieure à 33 % et une température supérieure à 35°C ou inférieure 8°C lui sont fatales (Miller et al., 2013). En fuyant la lumière, elle se trouve dans des endroits protégés comme sous les meubles, entre les lames de plancher, dans les tapis. La larve passe par trois stades larvaires, et atteint 10 mm de long. Le développement larvaire dure entre 10 et 20 jours (Franc, 1994). La larve L3 se courbe en U puis s'entoure d'un léger cocon de soie de 5 mm de long sécrété par les glandes séricigènes (glandes salivaires modifiées), pour se transformer ensuite en nymphe.

3. Les nymphes ou pupes

La larve L3 se transforme en nymphe au sein du cocon formé. Le cocon, lâche et collant, permet l'accumulation de poussières et autres débris pour camoufler et protéger la nymphe. Elle est blanche, possède des pattes et des antennes, mais reste immobile dans le cocon. Elle est très sensible à la dessiccation. Le stade nymphal dure au minimum cinq jours. Une fois le développement de la pupa achevé, différents stimuli vont provoquer la sortie de l'imago : des chocs, des vibrations, une augmentation de la température, un dégagement de CO₂ qui traduit la présence de l'hôte. Dans un milieu à 27°C avec une humidité relative de 80 %, les imagos commencent à émerger au bout de cinq jours et un pic d'émergence a lieu à 8-9 jours (Dryden, 1993). Une diapause peut s'instaurer si les conditions de développement ne sont pas idéales : chute de température, baisse d'hygrométrie ou absence d'hôte par exemple. Cette diapause peut durer jusqu'à six mois voire un an pour certaines espèces. Différents stimuli pourront ainsi provoquer une émergence massive de puces dans des lieux inoccupés depuis un certain temps. En outre, les pupes sont résistantes aux insecticides appliqués dans l'environnement.

4. L'imago

Sous l'effet des stimuli cités plus haut, l'imago sort de son cocon à l'aide de sa protubérance céphalique. La puce infeste ensuite son hôte à l'aide de son aptitude au saut. Elle se déplace entre les poils, et se maintient sur l'hôte par fixation passive lorsque les poils se coincent dans les griffes présentes au bout de ses pattes. Une fois sur l'hôte, sa longévité est estimée à 15-30 jours. Mais dans un environnement sans hôte, avec des conditions domestiques standards, la survie des puces ne dépasse pas 3 à 5 jours (Beugnet et Halos, 2015). Le premier repas sanguin est pris très rapidement, dans les minutes suivant l'infestation de l'hôte. Dans une étude, environ 25 % des puces avaient pris leur repas sanguin au bout de cinq minutes, et 97 % au bout d'une heure (Cadiergues et al., 2000). La femelle peut pondre 25 œufs par jours pendant près d'un mois (Beaucournu et al., 1990). Ainsi, dans des conditions qui permettent la réalisation du cycle en 21 jours, une femelle qui pond 20 œufs par jour et dont 50 % deviennent des femelles adultes, pourra être responsable du développement de 20 000 adultes et 160 000 pré-adultes au bout de 60 jours (Miller et al., 2013).

IV. *Pulex irritans* : particularités biologiques et épidémiologiques

Pulex irritans est une espèce cosmopolite. Adaptée à vivre dans les climats tempérés, elle est retrouvée dans le monde entier, sauf sur le continent Arctique (Buckland et Sadler, 1989). En effet, elle est présente toute l'année dans les conditions naturelles, avec un pic estival. Le froid et la sécheresse lui étant défavorables, sa répartition est limitée par l'altitude et la latitude (Collard et Samama, 2015). Une fois adulte, la longévité de *P. irritans* varie de quelques semaines à 1,5 an dans des conditions favorables telles qu'une température douce, un taux d'humidité important et la présence d'hôtes (O'Donnell et Elston, 2020).

Pulex irritans présente une grande variété d'hôtes comme les rongeurs, certains mammifères domestiques et sauvages, les animaux de rente. Elle est appelée puce de l'Homme car elle le parasite, ainsi que les animaux sauvages et domestiques qui lui sont associés ou qui vivent à sa proximité. Elle est également à l'origine de la transmission de nombreuses maladies zoonotiques (Zurita et al., 2019). Elle semble toutefois principalement inféodée aux carnivores sauvages comme le renard et le blaireau (Beaucournu, 1973). Selon les auteurs, il semblerait que l'imago passe autant de temps sur l'hôte que dans sa litière (Beaucournu et al., 1990), ou n'infesterait l'hôte que lors du repas sanguin, passant le reste de son temps dans l'environnement (Bouhsira et al., 2015).

Dans la suite de cette partie seront détaillées dans un premier temps les conditions environnementales et les pratiques d'élevages qui peuvent favoriser ou renforcer les infestations par *P. irritans* dans les élevages de petits ruminants. Dans un deuxième temps, les principales données concernant la prévalence de *P. irritans* dans le monde seront présentées, chez les animaux sauvages d'abord, chez les animaux domestiques ensuite et enfin chez les animaux de rente. Pour ces derniers, des exemples d'infestations par d'autres espèces de puces seront également abordés.

1. Conditions environnementales et conduite d'élevage

L'espèce *P. irritans* a été décrite dans la littérature comme infestant les élevages de petits ruminants, notamment en Grèce (Christodoulopoulos et Theodoropoulos, 2003), en Iran (Yakhchali et Bahramnejad, 2015) ou en Espagne (Gracia et al., 1999). Dans cette partie sont

recensées les conditions environnementales ou les pratiques liées à la conduite d'élevage qui semblent associées à ces infestations.

Tout d'abord, il semblerait que *P. irritans* soit retrouvée préférentiellement dans les élevages aux périodes chaudes de l'année, en particulier pendant les mois d'été qui offrent des conditions climatiques optimales au développement des puces (Yeruham et al., 1997). En Grèce, il a été mis en évidence que l'infestation est significativement plus marquée en cette saison, avec une charge parasitaire plus élevée entre mai et août et une absence complète de parasites en janvier et février (Christodouloupolos et Theodoropoulos, 2003). Parallèlement, en Iran, Yakhchali et Bahramnejad (2015) ont mis en évidence une différence significative sur la répartition des *P. irritans* sur les animaux infestés, en fonction des saisons, avec une prévalence en été 1,5 à 2 fois supérieure à celle au printemps et en automne (Figure 11). En Grèce, les infestations semblent plus marquées dans les villages ayant une température annuelle moyenne plus faible. La charge parasitaire reste toutefois plus importante en été qu'en hiver (Christodouloupolos et al., 2006).

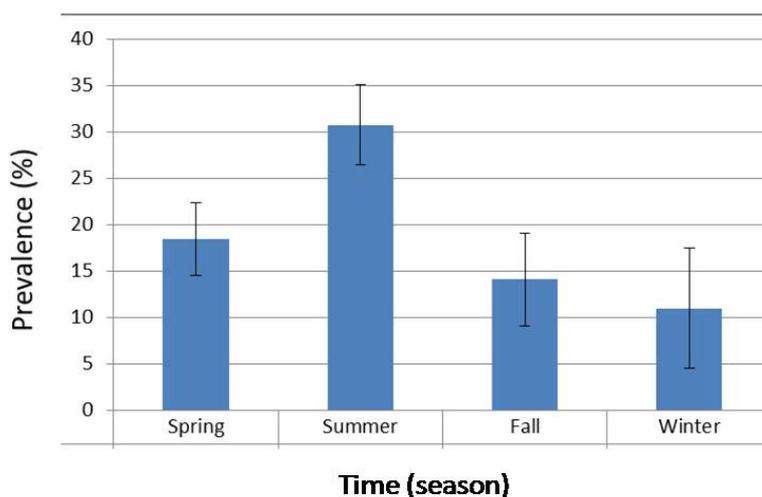


Figure 11 : Distribution saisonnière des infestations par *Pulex irritans* chez les brebis et dans les zones résidentielles des villages de la province de Kurdistan en Iran (Yakhchali et Bahramnejad, 2015)

En outre, les plus hauts taux d'infestation ont été recensés dans les élevages de brebis plutôt intensifs, alors qu'elle est plus faible dans les élevages semi-intensifs à extensifs. Le logement des animaux semble jouer un rôle important dans le développement des puces, puisque la litière offre aux larves un milieu riche en matière organique et pour les adultes, de nombreux hôtes disponibles à la surface (Kaal et al., 2006). Le fait de laisser s'accumuler le fumier dans les bâtiments d'élevage résulte en une augmentation de la chaleur et de l'humidité qui favorise la prolifération des puces (Obasaju et Otesile, 1980). Il semblerait également que les stades immatures de *P. irritans* puissent être retrouvés jusqu'à 3 cm de profondeur dans la litière en

élevages intensifs (Kaal et al., 2006). Une autre étude iranienne indique également que l'intensité de l'infestation dans les élevages semble être directement corrélée à l'épaisseur de la litière (Hadadzadeh, 2000). En Grèce, enfin, il semblerait que les éleveurs qui épandent leur fumier sont moins sujets aux infestations par les puces que ceux qui le laissent s'accumuler (Christodouloupoulos et al., 2006).

2. *Pulex irritans* chez les animaux sauvages

Pulex irritans, considérée comme la puce de l'Homme, est toutefois retrouvée sur de nombreux animaux sauvages. Il semblerait qu'elle soit à l'origine un parasite du renard (Duvallet et al., 2017). En effet, *P. irritans* est l'espèce de puce qui infeste le plus fréquemment ce canidé sauvage au Nouveau Mexique par exemple. Il semblerait que 58,3 % des renards nains (*Vulpes macrotis*), 73,3 % des renards véloces (*Vulpes velox*) et 11,1 % des renards gris (*Orocyon cinereoargenteus*) soient porteurs de *P. irritans* (Harrison et al., 2003). Au Texas, *P. irritans* a également été identifiée comme l'espèce de puce la plus abondante et la plus prévalente chez les renards véloces, notamment au cours d'une épidémie de peste (McGee et al., 2006). De même, en Turquie, elle représente 81 % des espèces de puces retrouvées sur des renards roux (*Vulpes vulpes*) étudiés dans la province d'Erzurum, à l'Ouest du pays (Aydin, 2011). En Hongrie, dans le cadre d'une étude s'intéressant aux infestations d'ectoparasites chez les renards roux, *P. irritans* est retrouvée sur 43 % des individus (Sréter et al., 2003).

Elle est également retrouvée chez d'autres espèces, comme les putois à pieds noirs (*Mustela nigripes*) dans l'état du Dakota du Sud, aux Etats-unis (Harris et al., 2014), ou encore chez les chevêches des terriers de l'Ouest (*Athene cunicularia*). Il s'agit de petites chouettes terrestres du Nord-Ouest de l'Amérique qui fréquentent notamment les habitats des chiens de prairie (*Cynomys ludovicianus*). Elles occupent ainsi les terriers de mammifères fouisseurs et peuvent également être infestées par les puces. Sur près de 5000 puces collectées pendant près de deux ans sur ces chouettes, *P. irritans* est l'espèce la plus largement représentée, à plus de 99 % (Belthoff et al., 2015).

3. Pulex irritans chez les animaux domestiques

Ctenocephalides felis est l'espèce majoritairement retrouvée chez les chiens et les chats (Dryden, 1993). D'autres espèces de puces peuvent toutefois également les parasiter telles que *C. canis*, *P. irritans* et *Echidnophaga gallinacea* (Scheidt, 1988).

Pulex irritans est la troisième espèce de puces retrouvée le plus fréquemment chez les chiens, après *C. felis* et *C. canis* (Beaucournu et al., 1990 ; Lafon et Serceau, 2019).

A. Europe

En Europe, *P. irritans* est présente chez les animaux de compagnie. Elle est toutefois retrouvée à de faibles taux d'incidence. Dans le Nord de la Grèce par exemple, elle touche 0,8 % des chiens (Koutinas et al., 1995). Au Royaume-Uni, sur 2653 chiens et 1508 chats présentés en consultation pour des cas d'infestation par les puces ou de troubles dermatologiques compatibles avec une Dermatite Allergique aux Piqûres de Puces (DAPP), *P. irritans* a été retrouvée sur 1,49 % des chiens et 0,4 % des chats (Bond et al., 2007). En Irlande, une étude plus ancienne évalue la prévalence chez les chiens à 24 % (Baker et Hatch, 1972). De même, elle est évaluée à 22 % en Pologne (Piotrowski et Polomska, 1975) et 1,7 % en Allemagne, avec des taux d'infestations plus marqués entre juillet et octobre (Beck et al., 2006).

En Espagne, *P. irritans* représente 1,47 % des puces retrouvées sur les 744 chiens étudiés et répartis sur l'ensemble du territoire (Gracia et al., 2000a). *Pulex irritans* est retrouvée préférentiellement lors des périodes chaudes de l'année, et davantage chez les chiens vivant dans un environnement rural. L'incidence de *P. irritans* semble significativement corrélée à l'activité des chiens. En effet, la fréquence de sortie des chiens (allant de « une fois par mois » à « uniquement dans la maison pour se nourrir ou dormir ») a été mesurée et s'avère proportionnelle à l'abondance de cette espèce sur les chiens (0.033 ± 0.007 , $P < 0.001$) (Gracia et al., 2008). Dans une autre étude conduite sur des chiens hébergés en chenil avec un sol en terre battue, 100 % des animaux étaient infestés par *P. irritans*, avec une moyenne de 80 puces par chiens. Les auteurs rapportent également des piqûres sur le maître-chien et ses proches (Gracia et al., 2000b).

En France, deux études ont été réalisées afin d'évaluer la prévalence des principales espèces de puces retrouvées sur les chiens et chats, dans près de 80 départements. Ces études mettent en évidence que *P. irritans* représente 0,07 % des infestations chez les chats (Cadiergues et al., 2000) et 0,8 % des infestations chez les chiens (Franc et al., 1998). Dans une

étude plus récente cantonnée au Sud-Ouest de la France, *P. irritans* est retrouvée sur 12,9 % des chiens et 0 % des chats (Lafon et Serceau, 2019).

B. Afrique et Moyen-Orient

En Lybie, dans une étude s'intéressant initialement aux infestations par les puces chez les ruminants, *P. irritans* est retrouvée sur tous les chiens qui vivent en ferme et infeste 67 % des chiens présentés pour ectoparasitose en clinique vétérinaire (Kaal et al., 2006). En Albanie, elle est retrouvée sur 8,3 % des chiens, là encore moins fréquemment que *C. canis* (75,7 %) mais davantage que *C. felis* (5 %) (Xhaxhiu et al., 2009).

C. Amérique

Aux États-Unis, le taux d'infestation par *P. irritans* chez les chiens est de 18,6 % en Floride (Yore et al., 2014) et de 18,8 % au Chili, derrière *C. felis* (41,8 %) et *C. canis* (39,4 %) (Alcaíno et al., 2002).

Pulex irritans est moins fréquemment rencontrée chez les chats. Au Mexique, la prévalence de *P. irritans* chez les chats est évaluée à 1 %, dans une étude regroupant 358 chats capturés dans les rues ou amenés par leurs propriétaires (Cantó et al., 2013).

4. Pulex irritans chez les animaux de rente

Les infestations par *P. irritans* chez les animaux de rente sont très rarement décrites dans la littérature. Quelques exemples recensés ci-dessous présentent ainsi des cas d'infestations à *P. irritans* ou à d'autres espèces de puces comme *C. felis* ou *C. canis* dans les élevages de petits ruminants en Europe, en Afrique et au Moyen Orient.

A. Europe

Dans la région de Saragosse en Espagne une étude menée sur 21 exploitations de brebis a rapporté que tous les élevages inclus dans l'étude étaient infestés par cette espèce (Gracia et al., 1999).

En Grèce, *P. irritans* a également été identifiée comme responsable de graves infestations dans plusieurs élevages de chèvres, en touchant principalement les chevreaux et également l'Homme au moment de la traite et de la distribution d'aliment (Christodoulopoulos et Theodoropoulos,

2003). Les animaux les plus infestés présentaient alors des signes cliniques d'infestation : agitation, frottements, mâchonnements, prurit, érythème, excoriations.

En France, une étude récente a décrit la présence de *P. irritans* dans un élevage de brebis des Hautes-Pyrénées, ainsi que dans le foyer de l'éleveur et de sa famille (Bouhsira et al., 2015).

B. Afrique

Pulex irritans a été identifiée dans des troupeaux de chèvres et de moutons dans la région du Tiznit au Maroc (Boudebouch et al., 2011).

D'autres espèces de puces peuvent également infester les animaux rente. En Lybie, par exemple, une étude a décrit une infestation par *C. felis strongylus* chez des chèvres, bovins et moutons (Kaal et al., 2006).

Ctenocephalides canis, la puce du chien, aurait également été retrouvée dans des élevages de chèvres au Nigeria (Ugochukwu et Apeh, 1985 ; Obasaju et Otesile, 1980 ; Opasina, 1983). Toutefois, il est à noter que *C. felis strongylus* présente des critères morphologiques semblables à ceux de *C. canis*, notamment un front arrondi, et sa prévalence est importante en Afrique, ce qui a pu conduire à des erreurs d'identification dans plusieurs études anciennes.

C. Moyen Orient

En Iran, *P. irritans* a été retrouvée sur des moutons, des chèvres, des vaches, des poulets et des Hommes, et représente dans deux études plus de 90 % de la totalité des puces collectées et identifiées (Rahbari et al., 2008 ; Yagoob, 2011). En 2011, dans la province d'Azerbaïdjan en Iran, plus de 300 cas d'infestation animale (brebis, chèvres, vaches, volailles) et 239 cas d'infestation humaine ont été décrits (Yagoob, 2011). Enfin, plus récemment, une autre étude a été menée afin d'évaluer la prévalence de *P. irritans* dans les troupeaux de moutons ainsi que dans les zones habitées des villages de la province du Kurdistan. Cette enquête révèle que 65 % des troupeaux et 5 % des quartiers résidentiels recensés sont infestés par cette espèce, parmi les 18 villages étudiés (Yakhchali et Bahramnejad, 2015).

De façon générale, l'infestation semble plus marquée chez les jeunes (agneaux et chevreaux) que chez les adultes. Les auteurs attribuent cette observation à une plus faible épaisseur de laine et à une peau plus fine chez les jeunes qui rendraient l'attaque et les piqûres de puces plus faciles (Kilonzo et Khama, 1989). Les taux d'infestation les plus importants sont retrouvés chez les animaux âgés de moins d'un an (Yakhchali et Bahramnejad, 2015).

Au Bangladesh, les infestations d'ectoparasites ont été étudiées sur le bétail, les chiens et les rongeurs. *Ctenocephalides canis* a été identifiée comme responsable d'infestations dans les troupeaux de chèvres et sur les chiens inclus dans l'étude (Fuehrer et al., 2012). *Ctenocephalides felis* a également été identifiée dans des troupeaux de chèvres et de brebis, avec de fortes infestations chez les agneaux et les chevreaux (Yeruham et al., 1997). Cette espèce a également été retrouvée dans des troupeaux de chèvres et de moutons en Tanzanie (Kusiluka et al., 1995), et dans le Nord-Ouest de l'Iraq. Enfin, *C. felis* a été recensée en Australie dans un cas d'infestation de jeunes veaux laitiers, âgés de zéro à quatre semaines. Il s'agit d'un cas d'infestation massive (en moyenne 41 puces collectées par animal) responsable chez les veaux d'un abattement marqué associé à un faible score corporel (Tsoi et al., 2020).

**PARTIE 2 : IMPORTANCE DE *PULEX IRRITANS*
EN MEDECINE HUMAINE ET VETERINAIRE**

I. Rôles pathogènes directs de *Pulex irritans*

Dans cette partie seront détaillés les rôles pathogènes directs associés aux infestations par *P. irritans* chez l'Homme et chez les animaux de rente.

1. Chez l'Homme

A. Modalités d'infestation

Pulex irritans est facilement transmise entre êtres humains au sein d'un même foyer. Sa dissémination par l'Homme (travailleurs, soigneurs animaliers ou fermiers allant d'une exploitation à une autre) a parfois été incriminée comme étant l'origine de l'introduction de puces dans les élevages de petits ruminants (Christodoulopoulos et Theodoropoulos, 2003 ; Bouhsira et al., 2015).

Pulex irritans représente dans certains cas un problème de santé publique car les taux d'infestation chez l'Homme sont parfois très importants. En Iran par exemple, près de 250 cas d'infestation humaine ont été recensés (Yakhchali et Bahramnejad, 2015).

Les êtres humains sembleraient particulièrement touchés au moment de la traite et de la distribution d'aliment (Christodoulopoulos et Theodoropoulos, 2003). L'importance de l'infestation dans certaines fermes est telle que les ouvriers agricoles et les habitants autour de la ferme sont eux-mêmes gravement infestés (Hadadzadeh, 2000). Il s'agit ainsi d'un problème sanitaire majeur pour les humains vivant ou travaillant à proximité des animaux infestés.

B. Signes cliniques chez l'Homme

Chez l'Homme, l'infestation par *P. irritans* se caractérise chez les personnes sensibles par un prurit très intense avec l'apparition de papules urticariennes, voire de vésicules, souvent localisées au niveau des zones exposées comme les extrémités : poignets et chevilles. Cependant, les puces peuvent aussi infester les vêtements et les piqûres peuvent alors être généralisées à l'ensemble du corps (Figure 12). Cette infestation peut être à l'origine d'un stress et d'un inconfort très important (Bouhsira et al., 2015). En effet, il semble que les éleveurs et leurs familles soient victimes d'un stress permanent du fait de la présence des puces. A ceci s'ajoute parfois un isolement social voire une stigmatisation de la part du voisinage, du reste de la famille ou encore des connaissances des individus touchés.



Figure 12 : Vésicules sur une zone exposée aux piqûres de puces (*P. irritans*) sur l'avant-bras
(O'Donnell et Elston, 2020)

Les réactions cutanées observées et décrites varient en fonction de la sensibilité inter-individuelle des sujets. On peut ainsi observer de petites papules érythémateuses et prurigineuses, des vésicules, ou parfois même des formes plus graves de plaies ou de surinfections cutanées (Yagoob, 2011). Les jambes et les chevilles sont souvent atteintes, avec deux ou trois papules suivant une ligne. Une tache rouge avec un centre de couleur claire semble apparaître là où les pièces buccales pénètrent la peau (Rahbari et al., 2008).

La réaction à la salive injectée par la puce lors de la piqûre entraîne un prurit, suivi en général d'une réaction locale limitée. L'eczématisation ou la surinfection vont être d'autant plus fréquentes que les ectoparasites sont abondants ou qu'une sensibilisation aux allergènes de la salive est observée. Les tableaux cliniques plus graves apparaissent plus fréquemment chez les personnes âgées (Duvallet et al., 2017).

2. Chez les animaux : pulicose

Cette partie souligne les principaux signes cliniques ou hématologiques observés chez les petits ruminants, dans les cas d'infestations par *P. irritans* ou par d'autres espèces de puces comme *C. felis strongylus* notamment.

A. Modifications de l'état général et du comportement

Les infestations par *P. irritans* dans les élevages de petits ruminants peuvent être responsables de modifications du comportement et d'une atteinte de l'état général des animaux de rente.

Dans une étude menée en Iran, les principaux signes cliniques observés sur les petits ruminants sont une agitation et un abattement marqué (Rahbari et al., 2008). Dans l'étude de Christodouloupoulos et Theodoropoulos (2003), les animaux parasités montraient de l'agitation, du prurit (frottements des animaux aux infrastructures) et des mâchonnements. Ces signes ont été observés sur une large proportion des chevreaux (74 %), et une plus faible part des femelles reproductrices (21 %).

Dans le cas d'infestations par des puces autres que *P. irritans*, comme *C. felis strongylus* ou *C. canis*, les principaux signes cliniques observés sont : agitation, amaigrissement, abattement marqué, mauvais état corporel, chute de production et même mortalité chez les jeunes animaux (Kaal et al., 2006 ; Fagbemi, 1982 ; Kusiluka et al., 1995 ; Opasina, 1983).

B. Spoliation sanguine et anémie

Chaque jour, une puce femelle peut consommer entre 10 et 15 fois son propre poids en sang, ce qui correspond à un volume de sang moyen de 13 μL par jour (Miller et al., 2013 ; Dryden et Rust, 1994). Ainsi, des animaux fortement infestés peuvent être atteints d'une anémie chronique.

Très peu d'études se sont intéressées à caractériser les infestations par *P. irritans* et leurs conséquences chez les petits ruminants. Différentes études décrivant des infestations par d'autres espèces de puces comme *C. felis strongylus* et *C. canis* sur des chèvres et des moutons rapportent une anémie clinique, avec parfois du sang partiellement coagulé sur les pattes arrières, une anémie marquée (hématocrite à 14,8 % et 23,8 % chez les agneaux et les moutons adultes respectivement), une pâleur des muqueuses, et parfois une mortalité importante (jusqu'à 66 %) (Fagbemi, 1982 ; Kaal et al., 2006).

C. Troubles cutanés : Dermatite Allergique aux Piqûres de Puces

Une infestation par *P. irritans* peut générer de l'alopecie et de l'hyperkératose associées à un épaissement cutané au niveau des membres, comme le décrivent Rahbari et al. (2008) dans une étude conduite en Iran. Christodouloupoulos et Theodoropoulos (2003) décrivent une alopecie et une lichénification de la peau, mais avec une absence de papules ou de croûtes, même sur les chèvres et chevreaux lourdement infestés.

II. Rôles pathogènes indirects de *Pulex irritans* : transmission d'agents pathogènes zoonotiques

Après un bref rappel des définitions de zoonoses et de vecteurs, cette partie a pour but de présenter les principaux agents pathogènes potentiellement transmis par *P. irritans* ou ceux pour lesquels elle est fortement suspectée d'être vectrice.

1. Définitions de zoonoses et vecteurs

D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une zoonose est une maladie ou une infection qui se transmet naturellement des animaux vertébrés à l'Homme, et inversement. Savey et Dufour (2004) définissent les agents responsables de zoonoses comme des agents transmissibles (bactéries, virus, parasites ou prions) qui peuvent provoquer une infection ou une infestation, avec ou sans maladie clinique, chez au moins deux espèces de vertébrés dont l'Homme. Les zoonoses représentent une part importante des maladies émergentes et déjà existantes chez l'Homme, respectivement à hauteur de 75 et 60 %, d'après le rapport Frontière 2016 du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Il existe différents modes de transmission des agents pathogènes, dont la voie vectorielle. Par ailleurs, selon l'OMS, les maladies à transmission vectorielle représentaient 17 % des infections chez l'Homme en 2020.

Un vecteur est un organisme vivant capable de transmettre un agent infectieux d'un hôte à un autre (animal ou Homme). Il s'agit souvent d'arthropodes hématophages qui transmettent les agents pathogènes après s'être infectés lors du repas sanguin. On classe ces vecteurs en deux catégories. Les vecteurs mécaniques transmettent simplement les agents pathogènes, au même titre qu'une aiguille souillée, sans multiplication de ceux-ci, contrairement aux vecteurs biologiques à l'intérieur desquels il y a multiplication de l'agent pathogène avant sa transmission. Ces dernières décennies, la mondialisation, le réchauffement climatique et l'émergence de résistances aux pesticides ont notamment participé à l'augmentation de la prévalence des maladies vectorielles, telles que la maladie de Lyme, la leishmaniose ou encore la Dengue.

2. Helminthes transmis par *Pulex irritans*

Un grand nombre d'helminthes peuvent être retrouvés chez les animaux, domestiques comme sauvages, parmi lesquels certains sont zoonotiques. Certains animaux constituent le réservoir de ces parasites, qui peuvent ensuite être transmis à d'autres animaux ou à l'Homme. La puce joue parfois le rôle d'hôte intermédiaire.

A. *Dipylidium caninum*

Dipylidium caninum est un cestode cosmopolite qui se loge dans l'intestin grêle de son hôte définitif. Les hôtes définitifs sont principalement le chien et le chat, mais peuvent aussi être des canidés et félidés sauvages. Occasionnellement, ce cestode infeste l'Homme de manière accidentelle, et particulièrement les enfants en bas âge. C'est donc un parasite zoonotique, provoquant une maladie appelée dipylidiose. Son hôte intermédiaire principal est la puce (*C. felis*, *C. canis*, et potentiellement *P. irritans*), mais des poux mallophages peuvent parfois être impliqués dans le cycle (*Trichodectes* spp.) (Euzeby, 1966).

L'infestation de la puce a lieu au stade larvaire. La larve ingère les œufs de *D. caninum*, qui contiennent un embryon hexacanthé. Les embryons persistent chez la puce durant son stade larvaire puis son stade de pupes. Lorsque la puce atteint le stade adulte, les embryons de *D. caninum* se développent en cysticercoïdes, le stade infestant pour les hôtes définitifs. L'hôte définitif s'infeste lorsqu'il ingère l'hôte intermédiaire, lui-même infesté par des larves infestantes de *D. caninum*. Les chiens et chats s'infestent donc souvent lors de mordillements ou léchage en ingérant des puces adultes. Une fois dans l'intestin grêle, la digestion des puces libère les cysticercoïdes. Le scolex de la larve s'attache à la muqueuse intestinale, puis la larve se développe en cestode adulte. L'excrétion de proglottis gravides a lieu 2-3 semaines plus tard environ, puis il y a libération des œufs dans le milieu extérieur.

En Chine, une étude a détecté l'ADN de *D. caninum* chez des puces *P. irritans* recueillies sur un chien (Hu et al., 2021). Une autre étude menée en Europe entre 2009 à 2013 a également mis en évidence de l'ADN de *D. caninum* chez des puces *P. irritans* (3,9 %) collectées sur des chiens vivants en territoires ruraux (Beugnet et al., 2014). La détection d'ADN au sein des puces n'est pas une preuve formelle du rôle vecteur de ces dernières, mais suggère bien que les puces ont été en contact avec le parasite.

Les symptômes sont souvent frustes chez le chien et le chat. L'excrétion des anneaux ovigères peut être à l'origine d'un prurit anal et donc de léchage et mordillements, ou de l'observation

du signe du traîneau. Lors d'infestation massive, des signes gastro-intestinaux ainsi qu'un amaigrissement peuvent être observés.

Les rares cas d'infestation humaine concernent surtout les enfants en bas âge, bien que les adultes puissent également être infestés (Villeneuve, 2003 ; Adam, 2012). En effet l'infestation ayant lieu lors de l'ingestion accidentelle d'une puce, les enfants y sont prédisposés du fait de leurs contacts étroits avec les animaux domestiques. Contrairement à d'autres parasites zoonotiques, l'Homme n'est pas une impasse parasitaire pour *D. caninum*, le ver adulte se développant complètement chez cet hôte. La dipylidiose est souvent asymptomatique, mais du prurit annal et des troubles digestifs sont parfois observés : gêne abdominale, diarrhée, perte d'appétit (Villeneuve, 2003).

B. *Acanthocheilonema reconditum*

Anciennement nommé *Dipetalonema reconditum*, *Acanthocheilonema reconditum* est un parasite peu pathogène responsable d'une filariose de distribution mondiale. Il est notamment présent dans le bassin méditerranéen, le Moyen-Orient, l'Afrique du Sud et l'Océanie (Brianti et al., 2012). Les hôtes définitifs sont les canidés sauvages et domestiques ainsi que les chameaux, et accidentellement l'Homme (Irwin et Jefferies, 2004). Les hôtes intermédiaires semblent être les espèces de puces suivantes : *C. felis*, *C. canis*, *P. irritans*, *P. simulans* et *Echidnophaga gallinae*, ainsi que les espèces de poux *Heterodoxus spiniger* et *Linognathus setosus* (Brianti et al., 2012).

Chez le chien, hôte définitif, la filaire adulte est localisée dans les tissus sous-cutanés. Les femelles pondent dans le sang des larves L1 appelées microfilaires, qui sont ensuite ingérées par l'hôte intermédiaire lors du repas sanguin. Au sein de l'hôte intermédiaire, la microfilarie se développe en larve L3, le stade infestant, qui sera par la suite transmis par piqûre.

Une étude de prévalence d'*A. reconditum* chez les puces *C. felis* et *C. canis* prélevées sur des chiens rapporte qu'elle s'élève à 5,1 % (Brianti et al., 2012). En revanche, lorsque les puces sont issues de chiens microfilarémiques, la prévalence est plus forte : une étude conduite à Okinawa au Japon a mis en évidence que 70,5 % des puces *C. canis* étaient porteuses d'*A. reconditum*. Dans cette étude, 4 des 31 chiens étaient infestés avec des *P. irritans* (12,9 %), et les huit échantillons de *P. irritans* prélevés se sont avérés positifs à la présence des microfilaires (Pennington et Phelps, 1969).

Acanthocheilonema reconditum est très rarement zoonotique. Chez l'Homme, la forme pré-adulte du parasite est généralement retrouvée dans l'œil, sous la conjonctive ou dans l'humeur

vitrée. L'infestation provoque une irritation sévère, une hyperhémie conjonctivale et un chémosis (Huynh et al., 2001 ; John et al., 2012).

3. Bactéries transmises par *Pulex irritans*

Outre les helminthes, les puces peuvent également être vectrices de différentes bactéries, parmi lesquelles un grand nombre sont zoonotiques. La transmission peut se faire lors de la piqûre, ou lors d'une contamination de lésions cutanées par des déjections de puces infectées. Cette partie détaille ainsi les principales bactéries zoonotiques susceptibles d'être transmises par *P. irritans*, à savoir *Yersinia pestis* (responsable de la peste chez l'Homme), les Rickettsies (responsables du typhus murin ou de la fièvre boutonneuse) et les Bartonelles (responsables entre autres de la maladie des griffes du chat).

A. *Yersinia pestis*

a. La peste : historique et épidémiologie

Yersinia pestis est l'agent pathogène responsable de la peste, une zoonose mortelle. C'est une entérobactérie Gram négatif dont le réservoir principal est constitué de rongeurs sauvages. Elle est transmise à l'Homme *via* des piqûres de puces, en particulier de *X. cheopis*, la puce du rat. Elle est en effet responsable de trois grandes pandémies, la première dite de Justinien du VI^{ème} au VIII^{ème} siècle après J-C, la deuxième dite peste noire au XIV^{ème} siècle, responsable de la mort de 30 à 50 % de la population européenne, et la dernière dite peste moderne au XIX^{ème} siècle. Suite à la réapparition de cette maladie dans les années 1990, la peste fait aujourd'hui partie des maladies ré-émergentes. D'après l'OMS, près de 50 000 cas humains ont été déclarés entre 1990 et 2020. De 2010 à 2015, 3248 cas de peste ont été enregistrés dans le monde, dont 584 mortels (Figure 13). L'Afrique présente un certain nombre de foyers, notamment en République Démocratique du Congo, en Ouganda et à Madagascar. La peste est une maladie endémique à Madagascar, avec chaque année une recrudescence saisonnière des cas entre les mois de septembre et d'avril. En 2017, une importante épidémie y a lieu et est responsable de 2300 cas et 200 décès (Galy et al., 2018). C'est le pays qui recense le plus de cas humains de peste au monde. Mais d'autres continents sont également touchés, comme l'Asie (Chine) ou l'Amérique (Pérou, côte Ouest des Etats-Unis). Aucun cas de peste n'a en revanche été déclaré en Océanie ou en Europe.



Figure 13 : Répartition des foyers naturels de peste dans le monde en 2016 (*www.who.int*)

Chez l’Homme la maladie peut se manifester sous différentes formes : la forme bubonique, la forme septicémique ou la forme pulmonaire. La peste bubonique, la plus courante, se caractérise par un état fébrile ainsi qu’une hypertrophie du ganglion lymphatique drainant la région de la piqûre de puce, qui forme le bubon. Elle présente un taux de létalité allant de 30 à 60 % et peut évoluer vers les formes septicémiques ou pulmonaires, plus virulentes et presque toujours mortelles en l’absence d’un traitement précoce et adapté (OMS, 2022).

b. Transmission de *Yersinia pestis*

Les rongeurs constituent le réservoir principal de *Y. pestis*. Cependant, la plupart des mammifères peuvent être infectés par la bactérie (Artiodactyles, Carnivores, Insectivores, Marsupiala, Primates...) mais il existe une grande différence de sensibilité entre ces espèces, considérées comme des hôtes accidentels (Gage et Kosoy, 2005). La transmission de la bactérie se fait essentiellement via une piqûre de puce infectée. De nombreuses espèces de puces peuvent être vectrices de la peste, mais l’efficacité de transmission ne semble pas être la même pour chaque espèce (Eisen et al., 2009). *Xenopsylla cheopis*, la puce du rat, est un des vecteurs majeurs de la peste. D’autres espèces de *Xenopsylla* peuvent également jouer le rôle de vecteur, comme *Dinopsyllus* spp., *Nosopsylla* spp., *Neopsylla* spp., *Ceratophyllus* spp. et *Oropsylla* spp. notamment (Gratz, 1999). En revanche *C. felis*, la puce du chat, est fréquemment rencontrée dans les foyers humains touchés par des épidémies de peste, mais ne semble pas

jouer un rôle majeur dans la transmission de la bactérie des rongeurs vers l'Homme, ni d'Homme à Homme en cas d'épidémie (Eisen et Gage, 2012).

Après un repas sanguin infestant, *Y. pestis* se multiplie dans le proventricule de la puce. La survie de la bactérie dans le tube digestif dépend de la présence de la toxine murine *Yersinia* (Ymt) (Hinnebusch, 2005). Cette prolifération aboutit à la formation d'un biofilm au bout d'une semaine environ. Le biofilm tapisse le proventricule et provoque une obstruction de celui-ci. Ainsi le sang nouvellement ingéré ne peut parvenir correctement dans le tube digestif et la puce n'arrive plus à se nourrir. La fréquence des piqûres augmente car la puce est affamée et l'obstruction du proventricule provoque un reflux de son contenu vers l'œsophage et les pièces buccales. Ces deux facteurs augmentent la probabilité de transmission de *Y. pestis* (Eisen et al., 2009). Ce phénomène de blocage, décrit par Bacot et Martin (1914), n'est pas présent avec la même intensité chez toutes les espèces de puces. Certaines espèces transmettraient donc plus facilement la bactérie que d'autres. Certaines études suggèrent cependant qu'une transmission précoce de la bactérie est possible par certaines puces, sans qu'il n'y ait d'obstruction du proventricule au préalable. Ce mode de transmission semblerait expliquer la rapidité de l'expansion des épidémies, dans les populations de rongeurs notamment (Eisen et al., 2006).

c. Le rôle de *Pulex irritans* dans la transmission de la peste

Le potentiel rôle vectoriel de *P. irritans* pour le bacille *Y. pestis* n'a pour l'instant pas été démontré en conditions de laboratoire (Eisen et Gage, 2012). Cependant, cette espèce a été majoritairement retrouvée dans des foyers de peste lors d'une épidémie à Madagascar et de l'ADN de *Y. pestis* y a été détecté (Ratovonjato et al., 2014). Cette espèce de puce, inféodée à l'Homme, pourrait être à l'origine d'une transmission inter-humaine. En Tanzanie, autre pays africain largement touché par des épidémies de peste, *P. irritans* est la principale espèce de puce collectée au sein de foyers épidémiques (72,4 % des puces récoltées) (Laudisoit et al., 2007). Cette espèce est également considérée comme un vecteur potentiel au Brésil, Angola, Burundi, République Démocratique du Congo, Iran, Iraq et Népal (Gratz, 1999).

B. *Rickettsia* spp.

Les Rickettsies sont des bactéries Gram négatif intracellulaires obligatoires de petite taille, transmises à l'Homme via des arthropodes hématophages. Nous nous intéressons ici aux principales Rickettsies associées aux puces, qui sont *Rickettsia typhi* et *Rickettsia felis*. Les bactéries infectent les cellules épithéliales de l'intestin moyen de la puce. Leur prolifération provoque la destruction des cellules de l'épithélium et leur libération dans la lumière du tube digestif. Les fèces de la puce deviennent ainsi infectantes en quelques jours. Il y a également dissémination des bactéries dans l'ensemble des organes de la puce, et une transmission transovarienne est possible (Reif et Macaluso, 2009 ; Farhang-Azad et al., 1985). Chez les mammifères, la bactérie se situe dans les cellules endothéliales. Leur réplication dans ces cellules entraîne leur lyse et la dissémination des bactéries dans la circulation sanguine. Les bactéries sont ainsi rendues accessibles pour les arthropodes hématophages vecteurs.

La transmission aux mammifères peut se faire par différents moyens. *Rickettsia felis* peut être transmise *via* la piqûre d'un arthropode infecté, la bactérie ayant été détectée dans les glandes salivaires de puces. Pour *R. typhi*, l'inoculation est possible *via* les déjections de puces contaminées : l'infection de l'Homme par inhalation de déjections en suspension a été décrite (Eisen et Gage, 2012).

a. *Rickettsia typhi*

Rickettsia typhi est l'agent du typhus murin, une zoonose de répartition mondiale. Cette bactérie a pour réservoirs les rongeurs et pour vecteurs la puce du rat, *X. cheopis* (Eisen et Gage, 2012). Un cycle impliquant des opossums comme réservoir et *C. felis* comme vecteur a été décrit au Texas et en Californie. L'incubation dure de 6 à 14 jours. Les symptômes chez l'Homme ne sont pas spécifiques. Les signes cliniques fréquemment observés sont une forte fièvre, des céphalées, des sueurs, des myalgies et une faiblesse générale. La maladie est rarement mortelle et peut être traitée aisément par antibiothérapie. Le signe pathognomonique est l'éruption cutanée maculeuse ou maculo-papuleuse (rash) (Duvallet et al., 2017). Il semblerait que *P. irritans* puisse transmettre la bactérie en conditions de laboratoire, mais son absence d'association avec les rongeurs en conditions naturelles en fait un vecteur peu probable (Eisen et Gage, 2012).

b. Rickettsia felis

Rickettsia felis est l'agent de la fièvre boutonneuse à puce. Cette affection est une zoonose cosmopolite, avec une prévalence plus élevée en zone tropicale qu'en zone tempérée. Les hôtes mammifères sont les chats, les chiens et les opossums, ainsi que l'Homme. Chez l'Homme, les symptômes principaux sont assez similaires à ceux du typhus murin, caractérisés par de la fièvre, des céphalées, des myalgies, ainsi que des éruptions cutanées de type rash (Reif et Macaluso, 2009). *Ctenocephalides felis* est le réservoir et le vecteur principal de *R. felis*, mais la bactérie a été mise en évidence chez d'autres espèces de puces et chez des tiques. Une étude menée en 2007 sur des puces récoltées en République Démocratique du Congo a mis en évidence de l'ADN de *R. felis* chez *P. irritans*, *E. gallinacea*, *Xenopsylla brasiliensis* et *T. penetrans*, avec un taux d'infection global estimé à 10,7 % (Sackal et al., 2008). L'ADN de *R. felis* a également été détecté sur des puces de l'espèce *P. irritans*, prélevées sur des chiens domestiques en Ouganda (Palomar et al., 2017) et sur des chiens dans le département de Caldas en Colombie (Ramírez-Hernández et al., 2013). Enfin, 30 % des échantillons de *P. irritans* prélevées sur des rongeurs et dans des habitations à Madagascar se sont également révélés positifs à l'ADN de *R. felis* (Rakotonanahary et al., 2017).

Ainsi, *P. irritans* peut jouer un rôle dans la transmission de bactéries zoonotiques comme *R. typhi* ou *R. felis*. Toutefois, peu d'études permettant de démontrer son rôle de vecteur potentiel sont disponibles, probablement en raison de la difficulté à maintenir *P. irritans* en conditions de laboratoire.

C. Bartonella spp.

a. Généralités

Les Bartonelles sont des bactéries hémotropes qui infectent de nombreux mammifères dont l'Homme. Ce sont de petits bacilles à coloration de Gram négative mesurant 0,3 à 0,5 x 1 à 1,5 µm, intracellulaires facultatifs, se localisant dans les globules rouges et dans les cellules endothéliales. La transmission de ces bactéries à l'Homme s'effectue majoritairement par inoculation des déjections de puces infectées, à la suite d'une morsure ou d'une griffure par un carnivore domestique (Boulouis et al., 2007).

Trois principales maladies sont décrites chez l'Homme : la fièvre des tranchées (due à *Bartonella quintana*), la maladie des griffes du chat (due à *Bartonella henselae*), et la maladie de Carrion (due à *Bartonella bacilliformis*). De nombreux cas d'endocardites chez l'Homme

ont également été décrits, causés par différentes espèces de Bartonelles comme *B. henselae*, *Bartonella koehlerae* ou *B. quintana*. D'autres maladies sont également associées à des infections par des Bartonelles, mais celles-ci sont moins fréquentes.

Les animaux domestiques et sauvages constituent un important réservoir. Actuellement, au moins 36 espèces ont été décrites, dont 17 seraient potentiellement agents de zoonoses (Breitschwerdt, 2017).

Dans le cadre de notre étude, parmi toutes ces espèces, il a été choisi de ne présenter que celles pour lesquelles *P. irritans* a pu être identifiée comme vecteur potentiel. Les espèces de Bartonelles zoonotiques pour lesquelles aucun portage de *P. irritans* n'a été démontré ont été exclues (notamment *B. henselae* responsable de la maladie des griffes du chat). En revanche, il a été choisi de présenter les espèces de Bartonelles dont les ruminants peuvent être réservoirs.

Les cinq espèces de Bartonelles concernées sont ainsi présentées dans le Tableau 1 et détaillées ci-dessous.

<i>Bartonella</i> spp.	Réservoirs primaires	Vecteurs démontrés ou supposés	Hôtes accidentels
<i>B. clarridgeiae</i>	Chat (<i>Felis catus</i>)	Puces (<i>C. felis</i> , <i>C. canis</i> , <i>P. irritans</i>) tiques	Homme , chien
<i>B. melophagi</i>	Mouton (<i>Ovis aries</i>)	Hippoboscidé (<i>Melophagus ovinus</i>)	Homme
<i>B. quintana</i>	Homme	Poux (<i>Pediculus humanus</i> , <i>P. capitis</i>), puces (<i>C. felis</i> , <i>P. irritans</i>), tiques	Chat, chien
<i>B. rochalimae</i>	Renard gris (<i>Urocyon cinereoargenteus</i>), raton laveur (<i>Procyon lotor</i>), chien (<i>Canis familiaris</i>)	Puces (<i>C. felis</i> , <i>C. canis</i> , <i>P. irritans</i> , <i>P. simulans</i> , <i>X. cheopis</i>), Tiques	Homme , coyotes, chats, cobayes
<i>B. vinsonii</i> subsp. <i>berkhoffii</i>	Chien (<i>C. familiaris</i>), coyote (<i>C. latrans</i>), renard gris	Tiques, puces (<i>C. felis</i> , <i>P. irritans</i> , <i>P. simulans</i>)	Homme

Tableau 1 : Espèces de *Bartonella* spp. zoonotiques (Homme réservoir ou hôte accidentel) dont *P. irritans* est vecteur potentiel ou les petits ruminants sont réservoirs (Chomel et Kasten, 2010 ; Tsai et al., 2011 ; Lafon et Serceau, 2019)

b. *Bartonella clarridgeiae*

Cette bactérie est considérée comme le second agent causal de la maladie des griffes du chat (Chomel et Kasten, 2010). Son principal vecteur est *C. felis* et son réservoir principal est le chat. *Bartonella clarridgeiae* a aussi été clairement identifiée dans des échantillons de *C. felis* recueillies sur des chèvres et des moutons dans la région de Tiznit au Maroc (Boudebouch et al., 2011).

En Ethiopie, dans le cadre d'une étude caractérisant la prévalence de plusieurs pathogènes zoonotiques chez les espèces de poux et de puces, l'ADN de *B. clarridgeiae* a été détecté par Réaction de Polymérisation en Chaîne (PCR) dans des puces de l'espèce *P. irritans* (Pérez-Tanoira et al., 2020).

c. *Bartonella melophagi*

De nombreuses études ont mis en évidence que l'hôte réservoir de *B. melophagi* est l'espèce ovine, et son vecteur principal le faux pou du mouton (*Melophagus ovinus*). Au Sud-Ouest des Etats-Unis, l'ADN de *B. melophagi* est retrouvé dans près de 100 % des échantillons de faux poux du mouton recueillis sur les animaux inclus dans l'étude, parmi lesquels 24,7 % étaient effectivement bactériémiques (Kosoy et al., 2016). La prévalence de la bactérie au sein du parasite hématophage a plusieurs fois été évaluée dans différentes parties du monde : 30,1 % dans la région de Shiqu County en Chine (Hao et al., 2020), 75 % dans le Nord-Est de l'Algérie (Boucheikhchoukh et al., 2019), 88,6 % en Ethiopie (Kumsa et al., 2014) et jusqu'à 100 % dans la province du Xinjiang en Chine (Liu et al., 2018) et en République Tchèque (Rudolf et al., 2016).

Aux Etats-Unis, *B. melophagi* a été détectée dans le sang de cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*). En effet, cette espèce a été retrouvée chez 40 % des individus positifs aux Bartonelles (Izenour et al., 2020).

Même si *B. melophagi* est habituellement transmise par *Melophagus ovinus*, cette espèce de Bartonelle a également été mise en évidence chez d'autres espèces d'arthropodes. En effet, plusieurs espèces de tiques recueillies sur des brebis et des vaches dans la province du Xinjiang en Chine se sont révélées positives à l'ADN de *B. melophagi* (Ni et al., 2021), ainsi que d'autres espèces de tiques (*Dermacentor everstianus* et *Haemaphysalis qinghaiensis*) recueillies sur des yacks (*Bos grunniens*) en Chine (Hao et al., 2020).

Il semblerait qu'aucun signe clinique associé à la présence de *B. melophagi* n'ait été décrit chez les petits ruminants. Toutefois, un rapport concernant l'isolement de *B. melophagi* dans le sang

de deux patientes humaines soulève une possible implication médicale de cette bactérie dans des manifestations cliniques chez l'Homme. En effet, une des patientes présentait une péricardite, tandis que l'autre avait des douleurs thoraciques à l'effort, un souffle cardiaque non ausculté auparavant, des maux de tête, une difficulté à parler et à dormir, une faiblesse au niveau des bras, des douleurs articulaires et des tremblements de la face (Maggi et al., 2009). Toutefois, il n'existe actuellement aucune preuve que *P. irritans* puisse porter ou transmettre cette espèce de Bartonelle.

d. *Bartonella quintana*

Bartonella quintana est responsable d'une maladie appelée fièvre des tranchées ou fièvre de cinq jours. Elle a causé la mort de plus d'un million de soldats au cours de la première guerre mondiale. Cette maladie est transmise habituellement à l'Homme par les fèces infectées de poux du corps (*Pediculus humanus*).

La fièvre des tranchées est réapparue depuis plusieurs années dans de nombreuses parties du monde, en particulier dans les camps de réfugiés en Afrique, mais aussi parmi les populations de sans-abris en Europe, Amérique du Nord et Russie (Rydkina et al., 1999).

L'ADN de *B. quintana* a été mis en évidence dans des échantillons de *Pulex irritans* recueillis sur des primates de l'espèce Moustac (*Cercopithecus cephus*) au Gabon (Rolain et al., 2005). D'autres espèces de puces, comme *C. felis* pourraient également être infectées et transmettre cette bactérie (Kernif et al., 2014).

e. *Bartonella rochalimae*

L'ADN de *B. rochalimae* a été isolé dans des échantillons de sang chez des chiens en Floride, dont 33 % étaient infestés par des puces du genre *Pulex* spp. L'ADN de ces puces a été identifié et s'est révélé positif à *B. rochalimae* (Yore et al., 2014). Plusieurs autres études ont également identifié l'ADN de *B. rochalimae* au sein de *P. irritans* : dans la région d'Andalousie en Espagne à partir d'échantillons de *P. irritans* recueillis sur des renards roux (*Vulpes vulpes*) (Márquez et al., 2009), au Chili (Pérez-Martínez et al., 2009), au Laos (Calvani et al., 2020), et au Pérou, à partir de puces du genre *Pulex* collectées sur des humains (Parola et al., 2002).

Au Mexique, dans une étude s'intéressant à la prévalence des Bartonelles chez les carnivores sauvages (blaireaux, lynx, coyotes, renards, mouffettes, ratons laveurs) et chez leurs puces, l'ADN de *B. rochalimae* est mis en évidence chez *P. irritans* et chez d'autres espèces du genre *Pulex*. En effet, respectivement 5,6 % des échantillons d'ADN de *P. irritans* et 12,8 % du total de ceux appartenant au genre *Pulex* s'avèrent positifs à *B. rochalimae*

(López-Pérez et al., 2017). Dans cette même étude, il est intéressant de noter que *P. irritans* est quasi exclusivement retrouvée sur les renards nains (*Vulpes macrotis*), parmi lesquels 13,3 % des individus étudiés sont également infectés par *B. rochalimae* (López-Pérez et al. 2017).

D'autres études ont permis d'établir une prévalence de *B. rochalimae* au sein de *P. irritans*. En effet, au Brésil, des échantillons de *P. irritans* ont été recueillis sur des chiens (*Canis lupus*) et des renards des savanes (*Cerdocyon thous*). Au total, 57,4 % des échantillons recueillis sur les chiens, et 100 % de ceux recueillis sur les renards se sont révélés positifs à l'ADN de *B. rochalimae* (Fontalvo et al., 2017). Dans deux parcs naturels en Argentine, des échantillons de *P. irritans* ont été collectés sur 46 renards gris (*Lycalopex griseus*). L'ADN de *B. rochalimae* a été détecté respectivement dans 15,2 % et 11,5 % des échantillons de *P. irritans* recueillis sur les renards de chacun des parcs (Millán et al., 2019).

Il semblerait que la pathogénicité et le potentiel zoonotique de cette bactérie n'aient pas encore été correctement évalués. Toutefois, même si la capacité de *P. irritans* à transmettre cette bactérie n'a pas encore été prouvée, l'ensemble de ces données soulève le fait que *P. irritans* puisse être un vecteur potentiel.

f. *Bartonella vinsonii* subsp. *berkhoffii*

Plusieurs études ont identifié l'ADN de *B. vinsonii* subsp. *berkhoffii* au sein de *P. irritans* : au Brésil dans des échantillons collectés sur des chiens (Fontalvo et al., 2017), au Pérou (Parola et al., 2002) et au Mexique, où 8,6 % des échantillons de puces recueillis sur les carnivores sauvages se sont révélés positifs (López-Pérez et al., 2017). En Argentine, l'étude mentionnée dans la partie précédente révèle que l'ADN de *B. vinsonii* subsp. *berkhoffii* a été détecté respectivement dans 54,3 % et 56,4 % des échantillons de *P. irritans* recueillis sur les renards de chacun des deux parcs naturels (Millán et al., 2019).

En Californie aux Etats-Unis, des renards gris (*Urocyon cinereoargenteus*) infestés par *P. irritans* ont été identifiés comme bactériémiques à *B. vinsonii* subsp. *berkhoffii* (Gabriel et al., 2009).

Chez le chien, cette espèce de Bartonelle a été plusieurs fois identifiée dans des cas de pathologies cardiaques. En effet, des cas d'arythmies, d'endocardites ou de myocardites ont été mis en évidence à l'Université Vétérinaire de Floride aux Etats-Unis (Breitschwerdt et al., 1999). D'autres cas d'endocardites à *B. vinsonii* subsp. *berkhoffii* ont également été identifiés chez des chiens dans la province du Saskatchewan au Canada (Cockwill et al., 2007).

Chez l'Homme, *B. vinsonii* subsp. *berkhoffii* a été impliquée dans au moins deux cas d'endocardites : le premier chez un patient portugais de l'hôpital St Thomas de Londres en Angleterre (Roux et al., 2000), le second chez un adolescent souffrant d'une maladie cardiaque congénitale (Olarte et al., 2012). D'autres cas d'infections intravasculaires à *B. vinsonii* subsp. *berkhoffii* ont été décrits chez deux patients immunocompétents (un vétérinaire et sa fille). L'espèce a été confirmée par hémoculture, suivie d'une PCR et d'un séquençage de l'ADN. Les symptômes suivants ont été observés chez les patients : perte de poids progressive, faiblesse musculaire, manque de coordination, maux de tête, douleurs musculaires et insomnies (Breitschwerdt et al., 2010).

g. Autres espèces de Bartonelles

De nombreuses études révèlent régulièrement l'existence de nouvelles espèces de Bartonelles. L'ADN de Bartonelle est couramment détecté au sein d'arthropodes vecteurs, sans pouvoir toujours la rattacher à une espèce déjà référencée.

En effet, dans une étude conduite au Pérou, de l'ADN de Bartonelle a été détecté par PCR dans des puces du genre *Pulex* collectées dans les vêtements d'hommes et de femmes, et également au sein d'une tique (dont l'espèce n'a pas été identifiée) trouvée sur une brebis. Toutes les séquences d'ADN diffèrent de toutes les espèces de *Bartonella* spp. qui ont déjà été décrites (Zeaiter et al., 2002). De la même façon, de l'ADN de Bartonelle au génotype et à la pathogénicité encore inconnus a plusieurs fois été détecté, dans des échantillons de *P. irritans* collectées sur des brebis et des chèvres au Maroc (Boudebouch et al., 2011) notamment. L'ADN de *Bartonella* spp. a également été mis en évidence chez des *P. irritans* recueillies sur des carcasses de renards roux (*Vulpes vulpes*) en Hongrie. Il s'agirait ainsi, selon les auteurs, de la première détection de l'ADN de Bartonelle chez la puce de l'Homme en Europe (Sréter et al., 2003). Enfin, plus récemment, une autre étude confirme la présence d'ADN de Bartonelle chez des *P. irritans* recueillies également sur des renards roux en Slovaquie (Víchová et al., 2018).

h. Bartonelles chez les ruminants

Depuis quelques années, l'ADN de nombreuses espèces de Bartonelles a été nouvellement référencé et décrit chez plusieurs espèces de ruminants domestiques et sauvages ainsi que chez leurs ectoparasites. Ainsi, *B. bovis*, *B. capreoli*, *B. chomelii*, *B. dromedarii* et *B. schoenbuchensis* ont notamment pu être identifiées chez des bovins et des cerfs muets (*Odocoileus hemionus*) en Californie (Chang et al., 2000), chez des chevreuils (*Capreolus*

capreolus) en Allemagne (Dehio et al., 2001) et en France (Bermond et al., 2002), chez des bovins domestiques (*Bos taurus*) et sauvages (*Bubalus bubalis*) en France (Bermond et al., 2002 ; Maillard et al., 2004), en Thaïlande, au Guatemala, en Géorgie (Bai et al., 2013), ou chez des camélidés (*Camelus dromedarius*) en Israël (Rasis et al., 2014).

Au Sud-Est des Etats-Unis, *B. schoenbuchensis* et *B. bovis* ont été respectivement détectées chez 44 % et 35 % des mouches hématophages appelées mouche du cerf (*Lipoptena mazamae*) portées par des cerfs de Virginie (*Odocoileus virginianus*) (Izenour et al., 2020).

Bartonella spp. a également été identifiée chez les stades adultes et immatures de la mouche du cerf (*Lipoptena cervi*) recueillis sur des élans (*Alces alces*) en Norvège (Duodu et al., 2013) ou sur leur lieux de couchage en Finlande (Korhonen et al., 2015). D'autres espèces de *Bartonella* spp. encore non référencées ont également été détectées chez des ovins aux Etats-Unis (Bemis et Kania, 2007).

En Tunisie, une étude a évalué le taux de puces *P. irritans* positives à l'ADN de Bartonelles à 23,5 % (55 % pour *C. canis* et 6,7 % pour *C. felis*). *Bartonella henselae*, *B. elizabethae*, et *B. clarridgeiae* qui sont trois espèces de Bartonelles zoonotiques, ont été isolées chez d'autres espèces de puces, comme *C. felis* retrouvée en particulier sur les petits ruminants, à hauteur de 5,8 % des brebis et 1,6 % des chèvres (Zouari et al., 2017).

Toutes ces données suggèrent que ces bactéries sont susceptibles de circuler dans la faune sauvage et domestique via des vecteurs hématophages. Il existe un important manque de données concernant le potentiel pathogène ou zoonotique de ces nouvelles espèces de Bartonelles retrouvées chez les ruminants.

Enfin, le rôle vecteur de *P. irritans* pour certaines espèces de Bartonelles doit être confirmé et démontré expérimentalement. La difficulté à maintenir des colonies de *P. irritans* en conditions de laboratoire est sans doute à l'origine de ce manque de données scientifiques. Cependant, les puces du genre *Pulex* sont susceptibles de parasiter l'Homme et représentent alors une réelle menace sanitaire, du fait de leur potentiel rôle vecteur.

III. La lutte contre les puces

1. Lutte chimique et hygiénique

La lutte contre les puces doit s'envisager de manière intégrée : en ciblant les puces adultes présentes sur l'hôte et/ou dans l'environnement, et les formes immatures présentes dans l'environnement. Le traitement de l'environnement est un point clé dans le plan de lutte générale contre les puces, car il prend en charge les œufs, les larves et les cocons qui représentent 95 % de la population totale de puces. Pour cela, on utilise des adulticides neurotoxiques pour éliminer les formes adultes, et des régulateurs de croissance associés à des mesures hygiéniques pour éliminer les formes immatures.

Au sein de l'élevage, les mesures hygiéniques consistent notamment en l'élimination de la litière, le nettoyage du sol et des murs avec de l'eau bouillante sous pression ou avec une brosse. Le vide sanitaire des bâtiments est fortement recommandé lorsqu'il est envisageable, mais ne requiert pas de durée minimale. Il permet ainsi de curer complètement la litière et de l'éliminer (Bouhsira et al., 2015). Un traitement contenant un régulateur de croissance, associé ou non à un insecticide, doit ensuite être appliqué sur le sol, les murs et la paille/litière une fois renouvelée.

Les traitements adulticides à appliquer ensuite sur les animaux peuvent se présenter sous forme de topiques : bain, spray, *spot-on* et *pour-on*, boucle auriculaire, ou par injection. L'application d'antiparasitaire externe (APE) par baignade semble être la méthode la plus efficace. Il est cependant nécessaire de bien respecter les recommandations du fabricant pour ce type de traitement. Ainsi, la concentration adéquate du bain en produit actif doit être adaptée à celle de l'animal le plus lourd du troupeau. Les animaux doivent être mobiles lors de l'immersion pour obtenir une saturation complète de la toison. Le temps d'immersion doit être d'au moins 30 secondes avec deux immersions complètes de la tête pour le contrôle des tiques, poux et mouches. Pour traiter la gale, 60 secondes d'immersion sont recommandées. Ces produits topiques ne présentent toutefois pas d'autorisation de mise sur le marché (AMM) concernant les puces. La baignade reste donc plus fiable que l'utilisation de spray, mais elle est plus contraignante en terme de temps, de matériel et de coût (Bates, 2004). La longueur de la toison et la teneur en suint jouent un rôle important pour la rétention des molécules et donc pour la persistance du produit. Il est ainsi recommandé de traiter les animaux au moins deux semaines après la tonte, c'est-à-dire avec une longueur de toison d'au moins un centimètre (Bouhsira et al., 2015).

Il est absolument primordial d'expliquer à l'éleveur que la prise en charge de son foyer, en plus des bâtiments d'élevage, est indispensable dans un plan de lutte contre *P. irritans*, en raison du transport aisé par les vêtements. Il faut alors conseiller de passer l'aspirateur de manière fréquente pour éliminer les œufs, les larves et les cocons présents dans l'environnement, et bien veiller à éliminer le sac de l'aspirateur. Les zones de couchage des animaux domestiques doivent aussi être nettoyées fréquemment. Les insecticides et régulateurs de croissance peuvent être appliqués dans la maison à l'aide de diffuseurs ou de foggers. Une attention particulière doit être portée aux zones comme les tapis, couvertures, canapés, placards, plinthes, sous les meubles, qui sont les régions où les œufs et les larves s'accumulent. Il est très souvent nécessaire de renouveler le traitement une à trois semaines plus tard en raison de l'émergence de puces adultes provenant des cocons dissimulés dans l'environnement (Simon, 2009). La voiture de l'éleveur ainsi que ses vêtements de travail doivent également faire l'objet d'une attention particulière, afin d'éviter la dissémination des parasites. Les mêmes méthodes de lutte que pour le foyer peuvent être appliquées à la voiture. Le port des vêtements de travail au sein du foyer doit être limité au maximum, et ceux-ci doivent être lavés en machine à 60°C minimum. Il en va de même pour les animaux de compagnie, pour lesquels l'administration d'antiparasitaires externes selon les bonnes pratiques d'usage est nécessaire afin de limiter leur portage de *P. irritans*.

2. Les grandes classes de molécules utilisées

Les molécules utilisées se distinguent avec d'un côté les régulateurs de croissance, efficaces sur les stades immatures qui interrompent leur cycle de développement, et de l'autre les adulticides neurotoxiques, efficaces uniquement sur les adultes.

A. Les régulateurs de croissance

Les régulateurs de croissance sont séparés en deux groupes. D'une part les analogues de l'hormone juvénile, qui bloquent l'évolution des œufs ou qui empêchent la transformation de la larve en nymphe lors de la deuxième moitié de la vie larvaire. D'autre part les inhibiteurs de la paroi, qui bloquent le processus de chitinisation. Ces régulateurs de croissance n'agissant pas de la même manière que les insecticides habituels, ils peuvent être utilisés dans l'environnement sans augmenter le risque d'apparition de résistances aux autres insecticides. Ils ne sont pas toxiques pour les mammifères (Franc, 1994). Les principales molécules agissant comme

régulateurs de croissance, utilisables dans les élevages de petits ruminants ou dans les habitations humaines, sont présentées dans le Tableau 2 ci-dessous.

Molécule	Spécialité	Formulation
➤ Analogues de l'hormone juvénile		
• Eyriproxifène (+ cyfluthrine)	Advanthome®	Spray Fogger
• Pyriproxifène (+ perméthrine + pipéronyl)	Parastop®	Aérosol Diffuseur Pulvérisateur
• (S)-méthoprène (+ perméthrine)	Tiquanis® Habitat Nouvelle formule	Diffuseur Solution pressurisée
➤ Inhibiteurs de la paroi		
• Cyromazine	Neporex®	Granulés
	Hokoex®	Granulés

Tableau 2 : Les principaux régulateurs de croissance disponibles pour traiter les locaux en élevage ovin (murs, sols, mangeoires) et les habitations humaines (*Med'Vet ; DMV - Dictionnaire des médicaments vétérinaires en ligne*)

B. Les molécules aduicticides

Dans cette partie, nous nous concentrons à présenter les molécules utilisables sur les animaux de rente et dans les élevages. Les néonicotinoïdes, les pyréthri-noïdes et les organophosphorés sont utilisés dans l'environnement ou pour le traitement individuel des animaux.

Les néonicotinoïdes se fixent de manière prolongée aux récepteurs nicotiques de l'acétylcholine, ce qui provoque une avalanche de potentiels d'action puis un arrêt brutal de la conduction nerveuse et la mort de la puce. Les pyréthri-noïdes modifient le fonctionnement des canaux sodiques du système nerveux, ce qui provoque chez l'insecte une hyperexcitabilité, des tremblements et des convulsions, puis une paralysie et enfin la mort. Les organophosphorés, eux, agissent au niveau des jonctions neuromusculaires en inhibant les cholinesté-rases. Cela se traduit par une accumulation d'acétylcholine au niveau de la membrane post-synaptique, provoquant une paralysie entraînant la mort. Les principales molécules utilisables en élevage de petits ruminants sont présentées dans les Tableaux 3 et 4 ci-dessous.

Molécule	Spécialité	Formulation
➤ Néonicotinoïdes		
• Imidaclopride	Quick Bayt® Spray	Pulvérisations
	Quick Bayt®	Granulés ou badigeonnage
➤ Pyréthrinoïdes		
• Cyfluthrine	Solfac® Thermonébulisation	Pulvérisations
	Solfac® 10	Poudre
• Deltaméthrine	K-Othrine® Flow 7,5	Suspension
• Perméthrine (+ (S)-méthoprène)	Tiquanis® Habitat Nouvelle Formule	Diffuseur Solution pressurisée
• Perméthrine (+ pipéronyl + pyriproxifène)	Parastop®	Aérosol Diffuseur Pulvérisateur
• Cyfluthrine (+ pyriproxifène)	Advanthome®	Spray Fogger

Tableau 3 : Les principaux insecticides disponibles pour traiter les locaux en élevage ovins (murs, sols, mangeoires) et les habitations humaines (*Med'Vet ; DMV - Dictionnaire des médicaments vétérinaires en ligne*)

Classe	Molécule	Spécialité	Rémanence	Temps d'attente
➤ Organophosphorés	• Phoxime	Sébacil® 50 % solution	7 – 8 semaines (gales)	Lait : interdit Viande : 28 j
➤ Pyréthrinoïdes	• Deltaméthrine	Butox® 50 ‰	?	Lait : 24 h Viande : 28 j
		Butox® 7,5 Pour-on	8 semaines (poux)	Lait : 12 h Viande : 2 j

Tableau 4 : Les principaux insecticides utilisables chez les ovins en solution externe pour traiter contre les puces (*Med'Vet ; DMV - Dictionnaire des médicaments vétérinaires en ligne*)

Le stade nymphal représente un problème majeur de la lutte contre les puces. En effet le cocon présente une résistance aux adulticides et aux régulateurs de croissance à prendre en compte dans la stratégie de lutte. Ainsi les nymphes continuent leur développement même en présence d'un traitement de l'environnement, et l'émergence de nouveaux adultes peut avoir lieu après ce traitement. Dans ces conditions, la rémanence des principes actifs joue un rôle important pour lutter contre ces émergences. La répétition des traitements est également capitale. La nécessité de les réitérer généralement trois à quatre fois conduit souvent à l'arrêt des traitements par les éleveurs et donc à l'échec de la lutte.

3. Exemples de lutte contre *Pulex irritans* en élevage

Le protocole présenté ci-dessous est un exemple de plan de lutte contre *P. irritans* en élevage de petits ruminants. Il s'appuie sur des exemples concrets qui se sont avérés efficaces dans la lutte contre *P. irritans*, notamment lors d'une infestation massive d'une des bergeries de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (Bouhsira et al., 2015) :

- Sortir tous les animaux de la bergerie, les tondre puis les traiter par baignade avec de la deltaméthrine (Butox[®] 50 ‰) trois semaines plus tard lorsque la toison a atteint un centimètre de longueur au moins.
- Traiter la litière par pulvérisations de deltaméthrine puis l'éliminer trois semaines plus tard.
- Pulvériser le bâtiment à l'eau bouillante sous haute pression et le sol à la deltaméthrine et au triflumuron.
- Effectuer un vide sanitaire de 2 mois.
- Avant la réintroduction des animaux, pulvériser la nouvelle litière au triflumuron.

Ce protocole ayant été utilisé en 2015, certaines des spécialités utilisées ne sont plus disponibles à ce jour, cependant les mêmes classes chimiques sont conseillées. Une autre étude rapporte une lutte réussie par traitements répétés (2-3 fois à 2 semaines d'intervalle) de l'environnement à l'aide d'une association de pirimiphos-méthyl 50 % (interdit en France) et de lambdacyhalothrin 2,5 % (Christodoulopoulos et Theodoropoulos, 2003).

Pour conclure, il est difficile d'élaborer un protocole de lutte standard, « clé en main » et généralisable à tous les élevages. Ce dernier doit être adapté à chaque élevage, notamment en fonction des molécules éventuellement utilisées au préalable. Cependant les grands principes

décrits ci-dessus doivent être suivis. Dans le cas où des aduicides auraient déjà été utilisés à plusieurs reprises pour traiter les bâtiments, il sera recommandé de procéder à un traitement de la nouvelle litière et des bâtiments à l'aide d'inhibiteurs de croissance, et inversement. L'utilisation de principes actifs ayant un mode d'action différent de ceux utilisés auparavant permet de limiter le risque d'émergence de résistances.

**PARTIE 3 : *PULEX IRRITANS* DANS LES
ELEVAGES DE PETITS RUMINANTS : ENQUETE
EPIDEMIOLOGIQUE ET RECHERCHE D'AGENTS
PATHOGENES ZOONOTIQUES**

I. Objectifs de l'étude

Les infestations à *Pulex irritans* sont très peu documentées dans les élevages de petits ruminants. Elles sont toutefois d'une importance notable. En effet, elles sont d'une part à l'origine de lourdes conséquences pour les éleveurs et leurs familles, tant sur l'aspect sanitaire que psychologique. D'autre part, elles ont fait plusieurs fois l'objet d'appels à l'aide au service de Parasitologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, tant elles sont problématiques et particulièrement difficiles à juguler. Ainsi, les objectifs de cette étude sont multiples :

- Etablir un état des lieux des infestations par *P. irritans* dans les élevages de petits ruminants (brebis et chèvres) du bassin de production correspondant au Sud-Ouest de la France, et plus précisément dans les départements suivants : Ariège, Aveyron, Lozère, Tarn. Le but étant de localiser précisément ces infestations et d'en donner les principales caractéristiques (importance, ancienneté ...)
- Comprendre l'origine de ces infestations
- Confirmer que l'espèce de puce incriminée est bien *P. irritans*, et évaluer les risques sanitaires associés à ces infestations, en déterminant la présence éventuelle d'ADN de bactéries du genre *Bartonella* par des méthodes de biologie moléculaire sur les puces collectées.
- Identifier les potentiels facteurs de risque associés aux infestations, et proposer un plan de lutte adapté.

II. Données épidémiologiques via un questionnaire proposé aux éleveurs

La première partie de notre travail consiste à caractériser les infestations par les puces dans les élevages de petits ruminants au moyen d'un questionnaire distribué aux éleveurs. Après avoir exposé les matériels et méthodes utilisés, nous présenterons les résultats obtenus à partir des réponses à cette enquête, permettant ainsi d'obtenir un état des lieux épidémiologique de ces infestations. Enfin, nous discuterons ces résultats à la lumière de la littérature scientifique sur le sujet.

1. Matériels et méthodes : élaboration du questionnaire

Afin de caractériser au mieux les infestations par *P. irritans* dans les élevages de petits ruminants, nous avons choisi de transmettre un questionnaire au format Google Form[®] aux éleveurs de petits ruminants, par le biais de leur Groupement de Défense Sanitaire (GDS) départemental respectif. L'objectif étant que ceux-ci soient contactés directement par leur GDS de façon à collaborer en toute transparence avec ces derniers.

Afin de préciser au mieux les infestations et les détails relatifs à la conduite d'élevage et à l'identification éventuelle de facteurs de risques qui ont pu être soulevés par la synthèse bibliographique (parties 1 et 2), plusieurs thèmes sont abordés par ce questionnaire : les généralités concernant l'exploitation concernée, la conduite d'élevage, l'hygiène, la prévention sanitaire et les caractéristiques des infestations par les puces. Nous souhaitons également investiguer si les éleveurs avaient mis en place au préalable des plans de lutte contre les puces, et le cas échéant de quelle manière (molécule utilisée, fréquence d'administration ...). Ce questionnaire a pour vocation d'être suffisamment complet pour caractériser au mieux cette problématique d'infestation. Il a toutefois été pris en compte la charge de travail des éleveurs et l'enquête a donc été pensée de façon à être claire et rapide à répondre. La durée nécessaire pour remplir ce questionnaire a été estimée à environ 15 minutes. Les éleveurs ont pu répondre à l'enquête entre avril 2021 et mai 2022. L'ensemble du questionnaire est présenté en Annexe 1. Au cours de l'étude, les éleveurs concernés par les infestations ont été contactés par téléphone lorsque cela était nécessaire pour obtenir des détails supplémentaires. Nous leur avons également demandé de nous faire parvenir des échantillons de puces à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

A. Généralités

Dans la première section du questionnaire il est demandé aux éleveurs des informations générales concernant leur élevage :

- Leur nom, prénom et coordonnées afin de pouvoir les identifier et les recontacter en cas de besoin
- Les adresses de leur bâtiment d'exploitation, et d'habitation
- Le type de production sur la ferme : ovins, caprins
- Les autres espèces présentes sur l'exploitation : chiens, chats, bovins, ovins, caprins, équidés, volailles, lapins

Ces informations nous permettent donc d'attribuer un numéro arbitraire à chaque élevage (correspondant à l'ordre chronologique d'obtention des réponses), de recueillir la liste des coordonnées GPS des exploitations incluses dans l'étude, le département, de connaître le lieu de vie des éleveurs (au sein de leur exploitation ou non), et de savoir si d'autres espèces animales sont présentes sur la ferme et lesquelles.

B. Conduite d'élevage

Dans cette section du questionnaire, il est demandé aux éleveurs de renseigner des informations relatives à leur conduite d'élevage, notamment :

- Le lieu de stockage de cette litière : à proximité des animaux ou dans un bâtiment distinct
- Le lieu de provenance de la paille : production personnelle, achat exclusif ou les deux
- Les périodes (mois) pour lesquelles les animaux sont respectivement, exclusivement à l'intérieur, exclusivement à l'extérieur, ne rentrent dans les bâtiments qu'une partie de la journée ou la nuit

C. Hygiène

Dans cette section, il est demandé aux éleveurs un certain nombre d'informations concernant les pratiques d'hygiène en vigueur dans leur élevage et notamment pour les éleveurs infestés les éventuels processus mis en œuvre en réponse à l'infestation :

- La fréquence de curage du fumier
- La fréquence de nettoyage des bâtiments
- Le processus de nettoyage des bâtiments
- La fréquence de désinfection des bâtiments
- Le produit utilisé pour la désinfection des bâtiments
- L'utilisation de produits insecticides dans l'élevage : Oui, Non
- Sa fréquence d'utilisation le cas échéant
- Le type de produit insecticide utilisé (principe actif)

D. Prophylaxie

Dans cette section du questionnaire il est demandé aux éleveurs un certain nombre d'informations concernant les traitements préventifs mis en place dans leur exploitation, sur leurs animaux de production et sur leurs animaux domestiques :

- L'utilisation d'un traitement antiparasitaire **interne** (API) systématique sur tous les ovins ou caprins de l'élevage : Oui, Non ; le type de produit utilisé ; sa fréquence d'administration
- L'utilisation d'un traitement antiparasitaire **externe** systématique sur tous les ovins ou caprins de l'élevage : Oui, Non ; le type de produit utilisé ; sa fréquence d'administration
- L'utilisation d'un traitement antiparasitaire **interne** ou **externe** systématique sur tous les animaux domestiques présents dans l'élevage : Oui, Non ; le type de produit utilisé ; sa fréquence d'administration

E. Caractérisation de l'infestation par les puces

Cette section du questionnaire a pour vocation de caractériser plus précisément les infestations dans les élevages inclus dans l'étude. Ainsi, plusieurs informations sont demandées aux éleveurs :

- L'infestation par les puces dans l'élevage : absente, actuelle ou révolue
- L'ancienneté de l'infestation
- Le désagrément causé par l'infestation et la motivation à s'en débarrasser, tous deux scorés sur une échelle de 0 à 10
- Les lieux ou animaux sur lesquels les puces sont retrouvées
- Les périodes (mois) pour lesquelles l'infestation est ressentie par les éleveurs comme la plus marquée
- Les répercussions cliniques observées sur les animaux et les catégories d'animaux les plus touchés
- Les répercussions cliniques observées sur les humains et les catégories d'individus les plus touchés
- L'origine de l'infestation suspectée par l'éleveur, et la date de première infestation
- Les méthodes de lutte mises en œuvre suite à l'infestation et leur efficacité

2. Résultats

Les résultats présentés dans cette partie recensent les éléments de réponse au questionnaire pouvant nous donner un éclairage sur les infestations par les puces dans les élevages de petits ruminants. Les résultats sont présentés selon plusieurs axes permettant une meilleure compréhension du phénomène d'infestation dans les élevages : (i) cartographie des élevages inclus dans l'étude (ii) description des élevages (iii) caractérisation et gestion des infestations. De ce fait, toutes les réponses obtenues dans le questionnaire n'ont pas été exploitées de façon exhaustive.

A. Cartographie des élevages inclus dans l'étude

Nous avons inclus dans notre étude tous les élevages pour lesquels nous avons obtenu une réponse au questionnaire, soit un total de 63 élevages, répartis dans 4 départements : l'Ariège, l'Aveyron, la Lozère et le Tarn. Dans le but de donner une représentation géographique de ces élevages, la carte présentée en Figure 14 représente les quatre départements concernés dans la région Occitanie, avec des nuances de couleurs correspondant au nombre d'élevages infestés dans chacun d'entre eux.

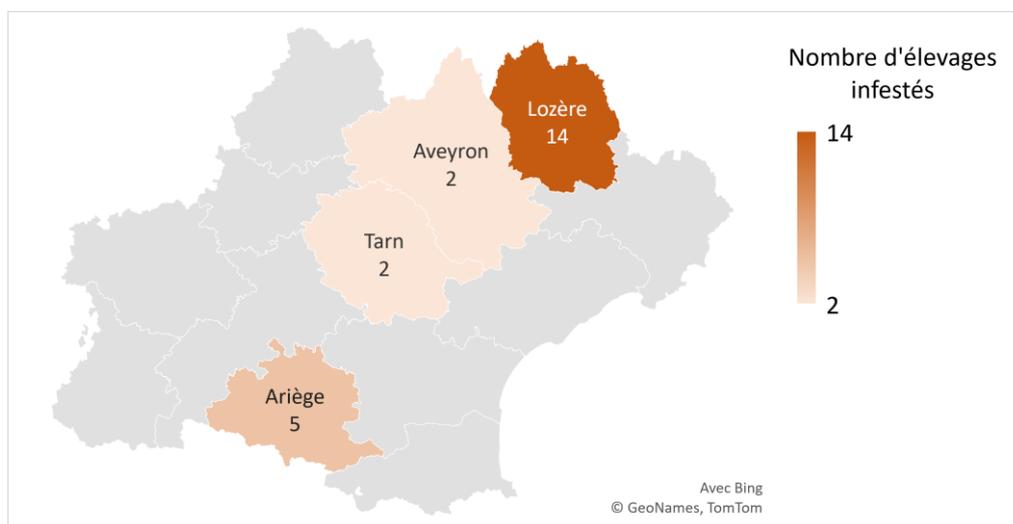


Figure 14 : Carte des départements touchés par les infestations actuellement et par le passé, en région Occitanie

D'après les données des Chambres d'Agriculture respectives des quatre départements inclus dans l'étude, le nombre total d'élevages de petits ruminants (ovins et caprins) dans chaque département est renseigné dans le Tableau 5. Pour rappel, dans chaque département, les GDS nous ont permis de diffuser ce questionnaire à leurs éleveurs adhérents. Le nombre d'élevages ainsi contactés par les GDS est également renseigné dans le Tableau 5 ci-dessous.

Département	Ariège	Aveyron	Lozère	Tarn	Total
Nombre d'élevages ovins	340	949	630	754	2673
Nombre d'élevages caprins	100	220	70	50	440
Nombre total d'élevages	440	1169	700	804	3113
Nombre de réponses obtenues	11 (2,5 %)	7 (0,5 %)	26 (3,7 %)	19 (2,4 %)	63 (2,0 %)
Nombre d'élevages contactés	NR*	296	353	400	-

*NR : chiffres non renseignés

Tableau 5 : Nombre d'élevages concernés dans les départements inclus dans l'étude
(Chambre d'agriculture Occitanie)

En comparant le nombre d'élevages inclus dans l'étude avec le nombre total d'élevages dans chaque département, il apparaît qu'une très faible proportion d'élevages a répondu à l'enquête, allant de 0,5 à 3,7 %.

Les résultats correspondant au caractère indemne, infesté actuellement ou infesté par le passé en fonction de la localisation géographique des élevages ayant répondu au questionnaire sont présentés dans la Figure 15.

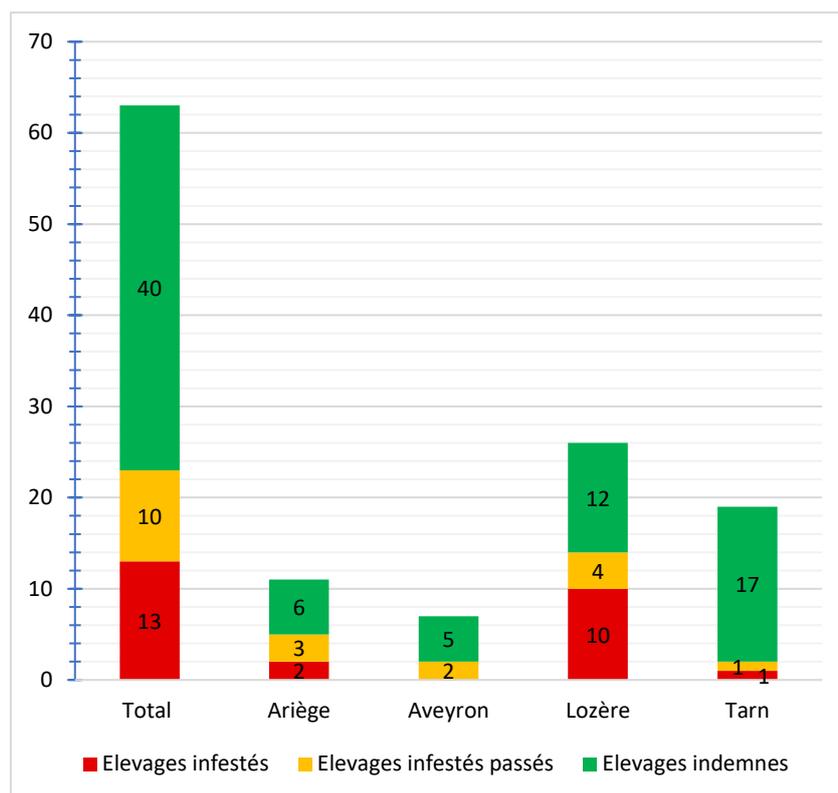


Figure 15 : Répartition géographique des élevages inclus dans l'étude

Au total, 63 élevages ont répondu à notre questionnaire, ainsi 63 élevages ont été inclus dans cette étude et analysés, avec 11 se trouvant en Ariège, 7 se trouvant en Aveyron, 26 se trouvant en Lozère et 19 dans le Tarn. Parmi ces élevages, 13 étaient infestés actuellement par des puces, 10 l'avaient été par le passé et 40 n'avaient jamais été infestés.

Parmi toutes les réponses obtenues, il apparaît que tous les départements inclus dans l'étude contiennent au moins un élevage qui a déjà été touché par les infestations ou qui l'est encore actuellement. Parmi les quatre départements, celui de la Lozère représente 41 % du total des réponses obtenues, et semble être le département le plus affecté, avec au sein du département près de 54 % d'élevages infestés parmi les élevages ayant répondu au sondage (14/26).

La carte ci-dessous, réalisée grâce au logiciel Mymaps de Google Maps, représente la localisation géographique des élevages actuellement infestés et de ceux qui l'ont été par le passé (Figure 16). Une vision plus globale de l'ensemble des élevages inclus dans l'étude est présentée en Annexe 2. Ce document en Annexe se présente sous la forme de deux cartes, une représentant la localisation de l'ensemble des élevages inclus dans l'étude (indemnes et infestés), et l'autre uniquement les élevages infestés (actuellement et par le passé).

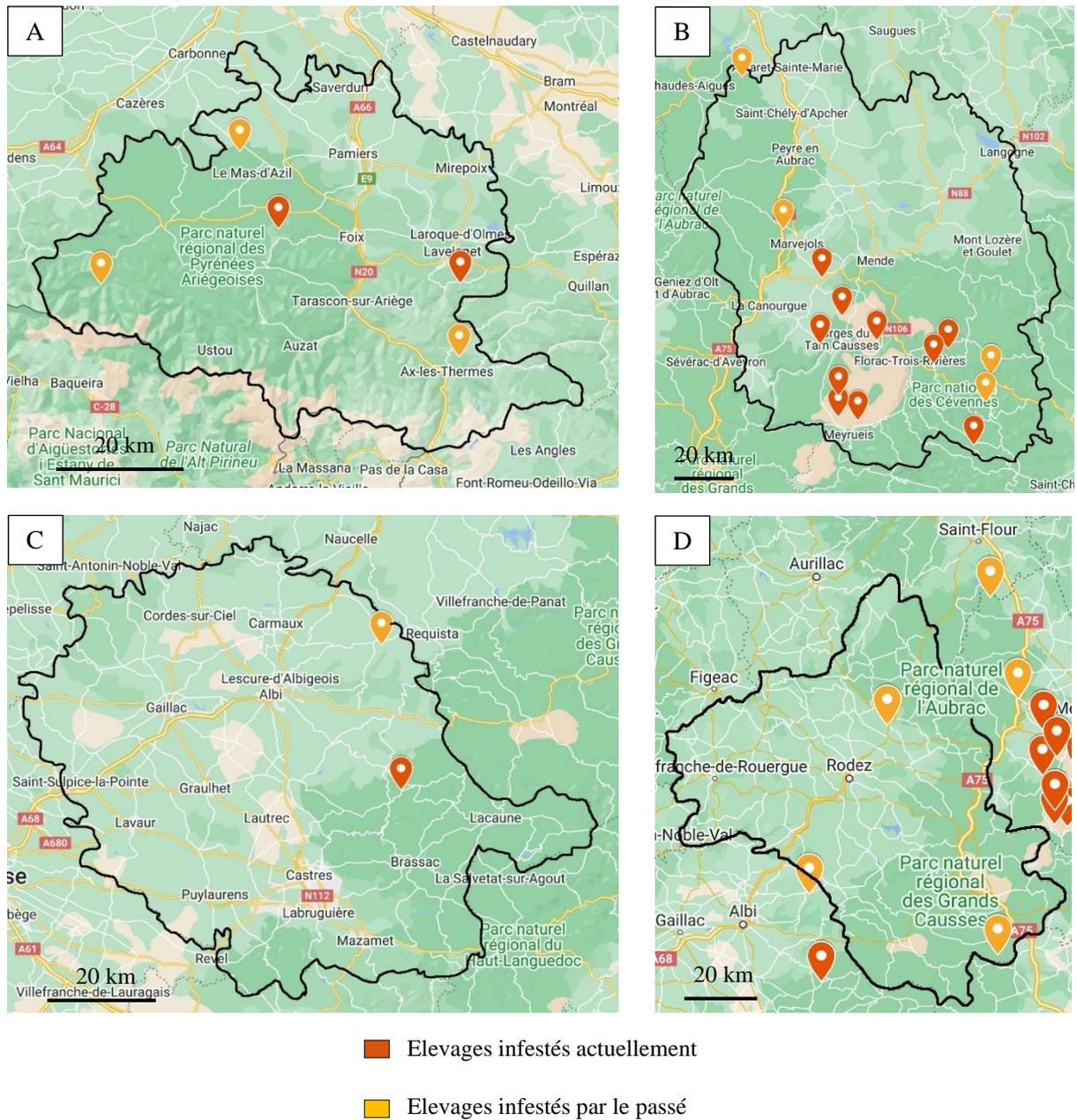


Figure 16 : Carte des élevages infestés actuels et passés dans les départements inclus dans l'étude : Ariège (A), Lozère (B), Tarn (C) Aveyron (D) grâce au logiciel *Mymaps* de *Google Maps*®

A partir des coordonnées GPS, une formule mathématique permet de calculer la distance entre deux points GPS (fiche d'aide au calcul détaillée en Annexe 3). Ainsi, pour chaque élevage actuellement infesté, la moyenne des distances aux autres élevages a été estimée. En calculant la moyenne des résultats obtenus pour chaque élevage, nous évaluons ainsi une distance moyenne globale entre tous les élevages infestés. En Lozère, celle-ci est de 22,37 km. En Ariège, seulement deux élevages sont encore actuellement infestés, ils sont séparés d'une

distance de 66,4 km. Dans le Tarn il n'y a qu'un seul élevage actuellement infesté, et il n'y en a aucun en Aveyron, seulement deux infestés par le passé.

En Lozère, comme l'indique la carte, la distance moyenne séparant les élevages actuellement infestés est relativement faible. Certains élevages sont parfois séparés d'une distance de 4 ou 5 km seulement. Cette proximité géographique importante entre certains élevages touchés pose donc la question des modalités d'une éventuelle transmission inter-élevages.

Au total, 63 éleveurs ont répondu à notre questionnaire. Les élevages concernés sont localisés dans les départements de l'Ariège, de l'Aveyron, de la Lozère et du Tarn. 13 élevages sont actuellement infestés, 10 l'ont été par le passé et 40 n'ont jamais eu de problème d'infestation par des puces.

La Lozère est le département le plus touché avec 10 cas d'infestations actuelles et 4 cas d'infestations passées, sur un total de 63 élevages inclus dans l'étude, dont 26 en Lozère.

B. Description des élevages concernés

Cette partie a pour objectif de décrire les élevages inclus dans l'étude. Les caractéristiques suivantes seront ainsi abordées : le type de production, la présence d'autres animaux sur l'exploitation, l'éloignement entre le foyer et les bâtiments d'élevage, la gestion de la litière et l'administration d'antiparasitaires.

a. Type de production

Parmi tous les élevages ayant répondu à l'enquête, nous avons recensé les types de productions ovins, caprins et mixte ovins/caprins dans le Tableau 6 présenté ci-dessous. Il y est détaillé le pourcentage de réponses obtenues pour chaque type de production, le pourcentage d'élevages infestés (actuels et passés) au sein de chaque type de production, et enfin la répartition de chaque espèce au sein des élevages infestés.

Type de production	Ovins	Caprins	Mixte
Répartition des réponses en fonction des espèces (n=63)	76 % (48/63)	14 % (9/63)	10 % (6/63)
Proportion d'élevages infestés au sein de chaque espèce	29 % (14/48)	56 % (5/9)	67 % (4/6)
Répartition des espèces au sein des élevages infestés (n=23)	61 % (14/23)	22 % (5/23)	17 % (4/23)

Tableau 6 : Distribution des types de production parmi les réponses obtenues au questionnaire

Ainsi, les éleveurs d'ovins représentent la majorité des éleveurs ayant répondu au questionnaire d'une part, et la majorité des élevages infestés d'autre part.

b. Présence d'autres animaux sur l'exploitation

i. Animaux de compagnie

Nous nous sommes intéressés à la présence d'autres animaux sur l'exploitation, afin de déterminer le degré d'extension de l'infestation par les puces, et ainsi le spectre d'hôte de *P. irritans*. Ces données étaient également susceptibles de déterminer si la présence d'autres espèces animales (notamment les carnivores domestiques) serait un facteur favorisant l'infestation.

	Elevages indemnes (n=40)	Elevages infestés (n=23)
Chiens sur l'exploitation	40 % (16/40)	52 % (12/23)
Chats sur l'exploitation	32,5 % (13/40)	52 % (12/23)
Animaux de compagnie sur l'exploitation (chien et/ou chat)	47,5 % (19/40)	56,5 % (13/23)

Tableau 7 : Présence de chiens et de chats dans les élevages infestés et indemnes de puces

Les données présentées dans le Tableau 7 ci-dessus montrent qu'il y a en proportion plus d'animaux de compagnie dans les élevages infestés que dans les élevages indemnes de puces. Ce point est important à prendre en compte car les chiens comme les chats peuvent contribuer

à la dissémination des puces (œufs) entre les bâtiments d'élevage et vers le foyer. Lors de la mise en place du plan de lutte, il sera important de ne pas oublier le traitement régulier de ces hôtes.

ii. Autres animaux de rente

Dans des élevages mixtes, réunissant différents animaux de rente, nous avons souhaité déterminer le degré d'extension de l'infestation par *P. irritans*, afin de mieux comprendre les spectres d'hôtes préférentiels et ainsi les types d'environnements favorables au déroulement du cycle de cette espèce de puce.

Les résultats concernant les proportions d'élevages infestés élevant d'autres animaux de rente sur le lieu d'exploitation sont présentés dans la Figure 17 ci-dessous.

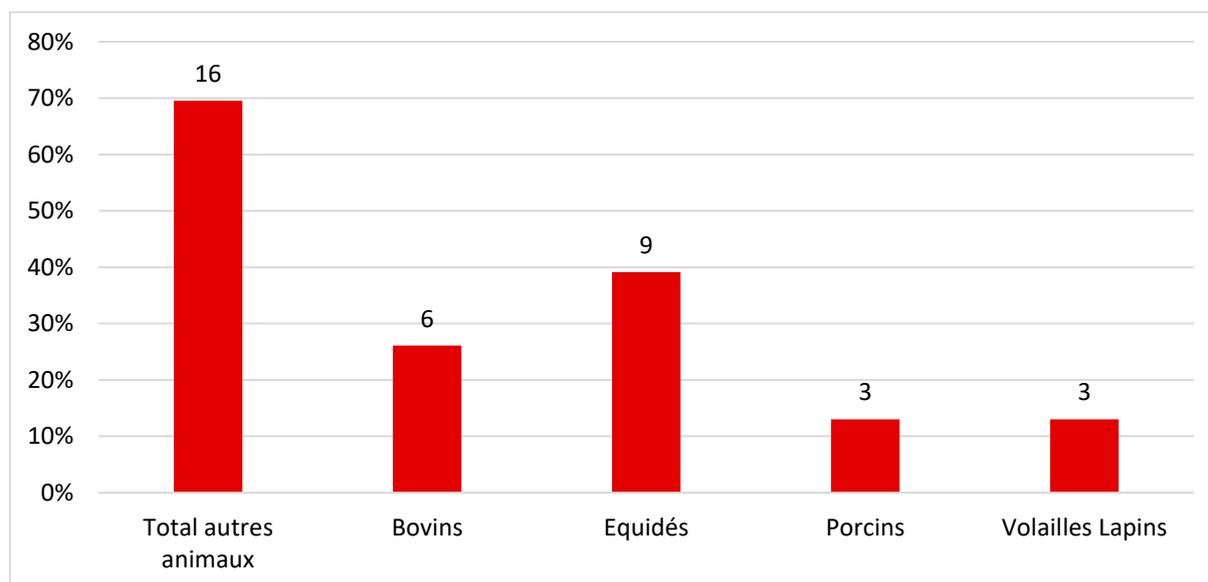


Figure 17 : Proportion d'élevages infestés (n=23) élevant d'autres animaux de rente sur l'exploitation

Ainsi, parmi les élevages infestés par les puces, 70 % possèdent au moins un autre atelier de production. Parmi eux, 26 % exploitent un atelier de production bovin, et 39 % possèdent des équidés. Toutefois, les éleveurs ont bien spécifié que l'infestation par les puces était exclusivement cantonnée aux bâtiments hébergeant les petits ruminants.

c. Foyer à proximité du lieu d'élevage

Il semble pertinent de savoir si le foyer des éleveurs est systématiquement infesté lorsque l'élevage est touché par les infestations. Pour y répondre, nous avons demandé aux éleveurs s'ils habitaient au même endroit que leurs bâtiments d'élevage, ou dans un lieu distinct. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 8 ci-dessous.

	Foyer infesté (n=16)	Foyer non infesté (n=7)
Elevages infestés (n=23)	70 % (16/23)	30 % (7/23)
Lieu d'habitation sur la ferme	69 % (11/16)	71 % (5/7)
Lieu d'habitation distinct	31% (5/16)	29 % (2/7)

Tableau 8 : Evaluation de l'infestation du foyer de l'exploitant en fonction de la proximité entre l'habitation et les bâtiments d'élevage

Ces données montrent que parmi tous les éleveurs touchés par les puces, 70 % ont leur foyer infesté, et 30 % non. Par ailleurs, parmi tous les éleveurs qui n'habitent pas sur la ferme, les proportions de foyers infestés et non infestés sont sensiblement les mêmes, respectivement de 31 % et 29 %. Dans le cas des éleveurs n'habitant pas à proximité de leur exploitation, il est important de noter que la distance qui sépare les bâtiments d'élevage des habitations est en moyenne de 3,5 km. Ces informations attestent que la proximité entre le foyer et les bâtiments d'élevage ne semble pas influencer sur son infestation et elles confirment donc le portage humain des puces (vêtements infestés, voiture, transport de matériel, ...) et/ou par le biais de leurs animaux de compagnie.

d. Gestion de la litière

D'après la littérature, il semblerait que les infestations par les puces soient corrélées à la gestion de la litière, puisque cette dernière semble assurer le biotope idéal pour le développement des larves et la réalisation du cycle biologique, et qu'une accumulation de la litière serait à l'origine d'une infestation plus importante.

Afin de répondre à cette question, il a d'abord été demandé aux éleveurs de renseigner la provenance de leur paille parmi les trois possibilités suivantes : achat exclusif depuis d'autres élevages, achat occasionnel depuis d'autres élevages et production personnelle ou production personnelle exclusive. Les résultats correspondants sont présentés en Figure 18.

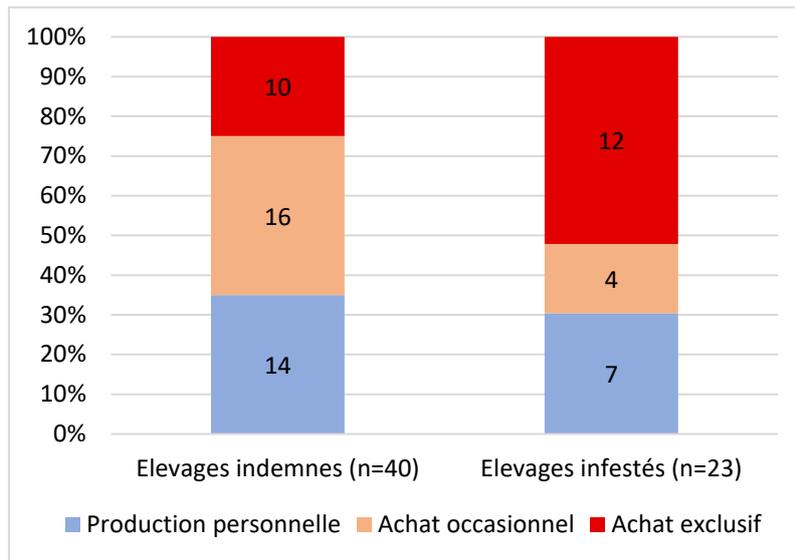


Figure 18 : Provenance de la paille utilisée pour la litière dans les élevages indemnes et infestés par les puces

Nous observons que les éleveurs infestés par les puces sont en proportion deux fois plus nombreux (52 %) que les indemnes (24 %) à acheter leur paille exclusivement en provenance d'autres élevages. Cela pourrait expliquer l'introduction de puces dans les élevages.

Ensuite, il a été demandé aux éleveurs le lieu de stockage de leur paille, s'il est situé à proximité des animaux, c'est-à-dire dans le même bâtiment, ou dans un bâtiment distinct. Les résultats sont présentés sur la Figure 19.

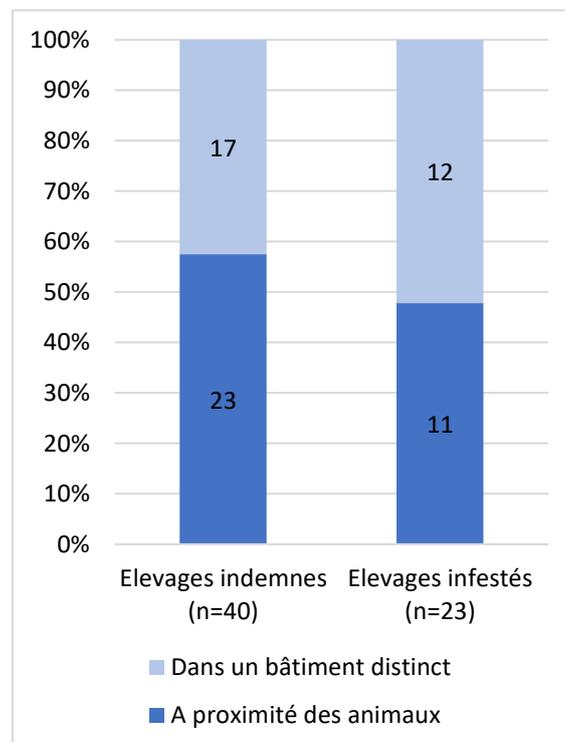


Figure 19 : Lieu de stockage de la paille ou litière dans les élevages indemnes et infestés par les puces

Ces chiffres montrent que les proportions d'élevages infestés et indemnes qui stockent leur paille à proximité des animaux sont relativement les mêmes, 56 % pour les indemnes, 48 % pour les infestés.

e. Traitements antiparasitaires

Nous avons souhaité savoir si les éleveurs utilisaient des traitements antiparasitaires (internes et externes) sur leurs animaux (petits ruminants et animaux de compagnie), et le cas échéant, quelles étaient les principales molécules utilisées et leur fréquence d'administration.

i. Chez les petits ruminants

Antiparasitaires internes :

Des antiparasitaires internes sont utilisés régulièrement pour 52 % des élevages infestés (soit 12 élevages) et pour 58 % des élevages indemnes (soit 23 élevages). La Figure 20 fournit les fréquences de traitement parmi les éleveurs qui traitent aux antiparasitaires internes.

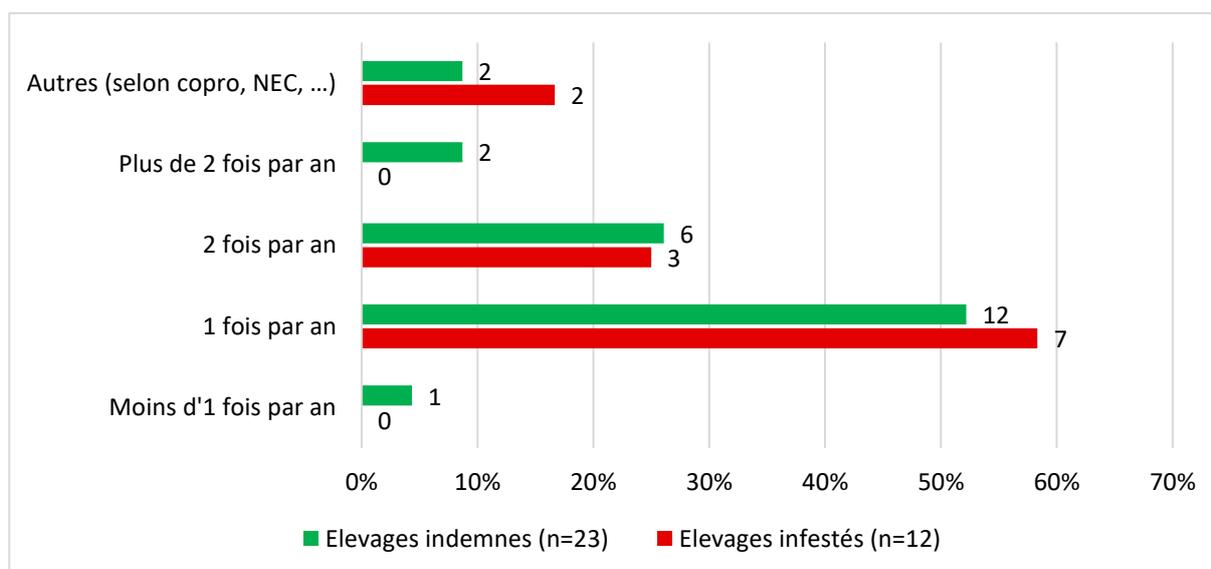


Figure 20 : Répartition des fréquences de traitement antiparasitaire interne des petits ruminants parmi les élevages infestés et indemnes qui effectuent des traitements systématiques

Nous observons que parmi ceux qui traitent, la majorité des élevages (plus de 50 %) effectue un seul traitement annuel.

Les molécules utilisées sont présentées dans la Figure 21.

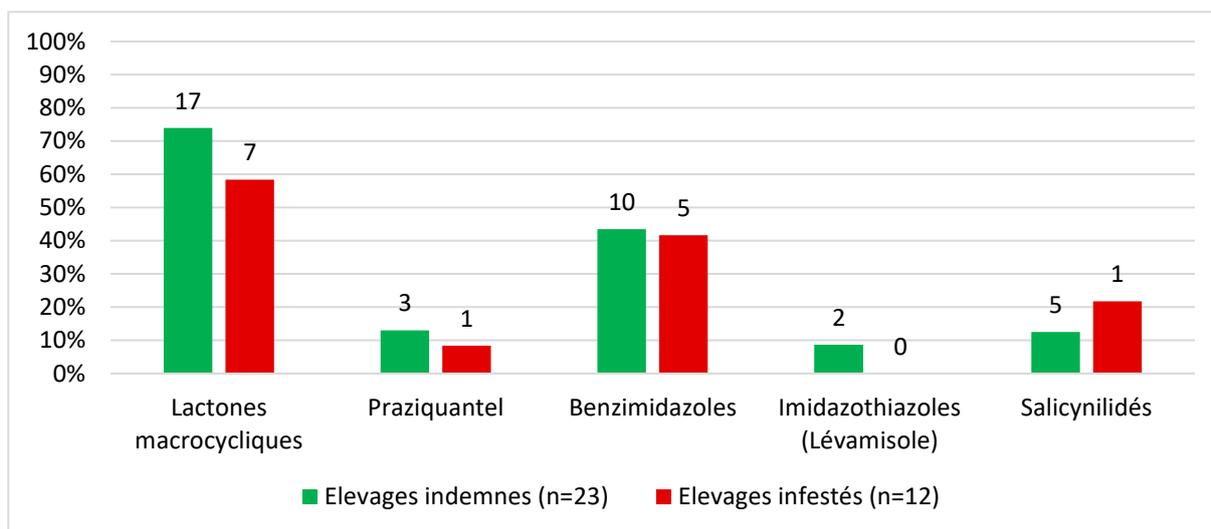


Figure 21 : Classes chimiques des antiparasitaires internes utilisés sur les petits ruminants

Ces résultats montrent que les lactones macrocycliques puis les benzimidazolés sont les principales molécules utilisées.

Antiparasitaires externes :

La majorité des éleveurs infestés et indemnes de puces n'utilisent pas systématiquement des antiparasitaires externes. Le détail de ces résultats est présenté dans le Tableau 9 ci-dessous.

	Elevages indemnes (n=40)	Elevages infestés (n=23)
Traitement APE systématique des petits ruminants	10 % (4/40)	26 % (6/23)
Absence de traitement APE systématique	90 % (36/40)	74 % (17/23)

Tableau 9 : Traitement antiparasitaire externe chez les petits ruminants dans les élevages indemnes et infestés par les puces

La Figure 22 ci-dessous renseigne les fréquences de traitement effectuées parmi les éleveurs qui traitent aux antiparasitaires externes (4 élevages indemnes et 6 élevages infestés).

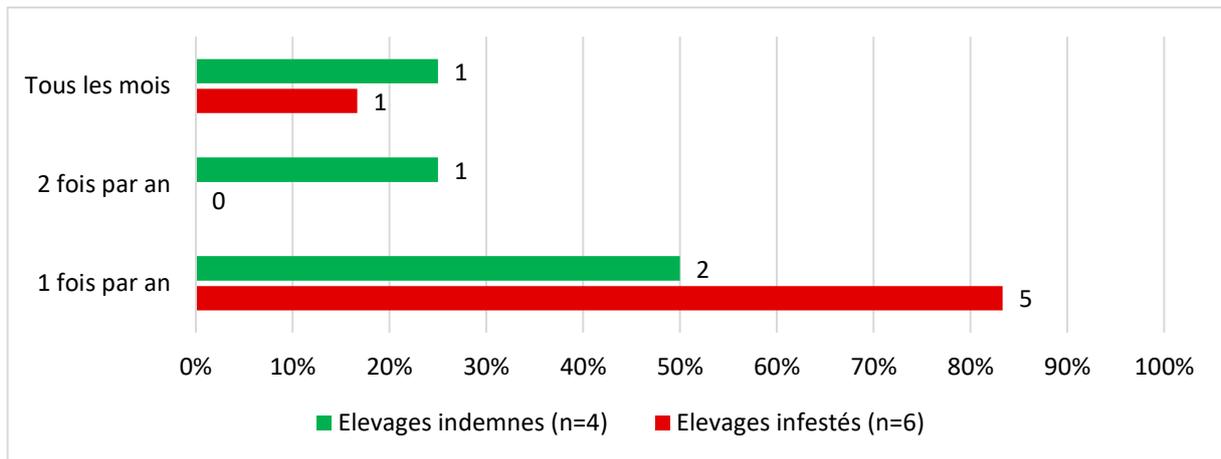


Figure 22 : Fréquence des traitements antiparasitaires externes utilisés sur les petits ruminants parmi les élevages infestés et indemnes qui effectuent des traitements systématiques

Ce graphique montre qu'une majorité d'éleveurs ne traitent qu'une fois par an, même s'ils sont infestés. La proportion d'éleveurs traitant aux antiparasitaires externes reste relativement faible, certainement au vu du fait que les puces n'ont que peu d'impact sur la santé directe des animaux (cf partie II. 2. C. c. i).

Les classes chimiques utilisées pour traiter les animaux sont indiquées dans la Figure 23.

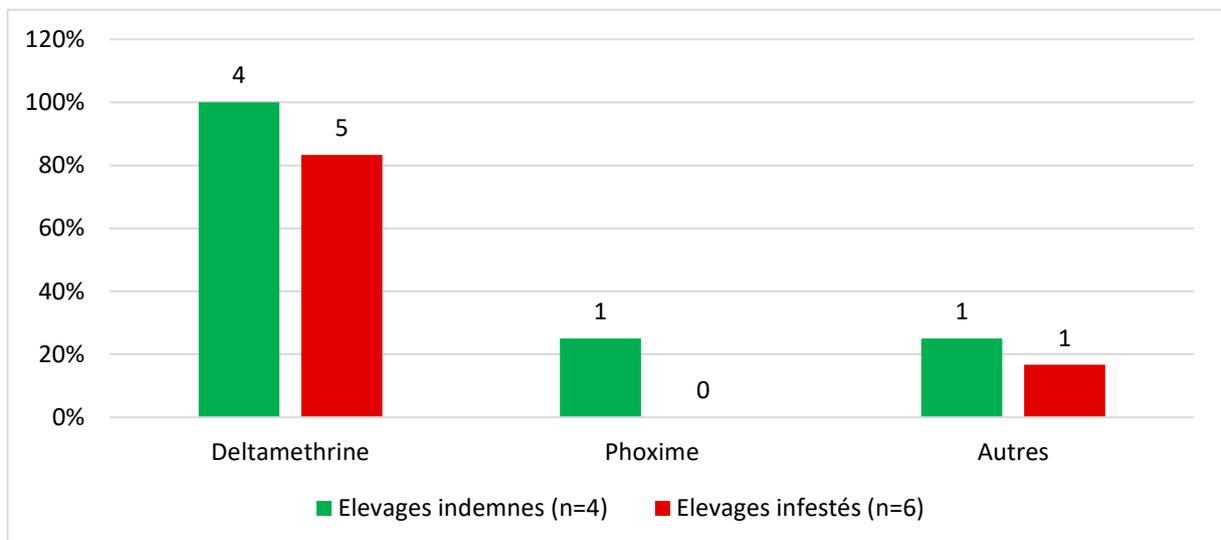


Figure 23 : Molécules des antiparasitaires externes utilisés sur les petits ruminants

Nous remarquons que la deltaméthrine est la molécule majoritairement utilisée dans les différents élevages de l'étude. Dans le graphique, le total des réponses des élevages indemnes est supérieur à celui de l'effectif (n=4), en raison d'une utilisation combinée de plusieurs molécules.

ii. Chez les animaux de compagnie

Il a été demandé à l'ensemble des éleveurs d'indiquer s'ils traitaient systématiquement avec un antiparasitaire externe et/ou interne leurs animaux de compagnie (chiens et chats), ceci indépendamment de la présence de puces dans leur élevage. Les résultats obtenus pour cette question sont présentés dans le Tableau 10 ci-dessous.

	Elevages indemnes (n=40)	Elevages infestés (n=23)
Aucun traitement	50 % (20/40)	30 % (7/23)
Traitement APE	48 % (19/40)	65 % (15/23)
Traitement API	13 % (5/40)	30 % (7/23)
Traitements APE + API	10 % (4/40)	26 % (6/23)

Tableau 10 : Proportions d'élevages traitant leurs animaux de compagnie aux antiparasitaires

Ces résultats soulignent le fait que les infestations par les puces représentent une problématique relativement contraignante et préoccupante puisque les éleveurs infestés semblent traiter davantage leurs animaux de compagnie que les éleveurs indemnes, certainement afin de réduire la pression parasitaire liée aux puces. En effet, 65 % des éleveurs touchés par les infestations traitent systématiquement leurs animaux de compagnie avec des antiparasitaires externes, contre 48 % chez les éleveurs indemnes.

Il a été particulièrement difficile de recueillir des informations précises auprès des éleveurs sur les molécules antiparasitaires utilisées et leur fréquence d'administration en raison de la grande diversité de produits disponibles sur le marché. Par ailleurs, le recueil d'informations sur les traitements antiparasitaires des animaux domestiques ne faisait pas partie des objectifs de notre questionnaire, ainsi, les molécules et les fréquences des traitements effectués chez les animaux de compagnie ne seront pas détaillées.

Concernant la description des élevages inclus dans l'étude, les résultats montrent que :

- Les ateliers ovins représentent la majorité des élevages touchés par les puces (61 % des élevages infestés). Lorsque d'autres animaux de rente sont présents sur les exploitations infestées, seuls les petits ruminants semblent parasités.
- Il y a plus d'animaux de compagnie dans les élevages infestés (56,5 %) que dans les élevages indemnes (47,5 %). Leur présence peut contribuer à la prolifération des puces et donc à l'aggravation du phénomène.
- Les proportions de foyers infestés sont les mêmes quelle que soit la distance entre les bâtiments d'élevage et les habitations. Ceci met en évidence un portage des puces par l'Homme (vêtements, matériels, ...) ou par les animaux de compagnie.
- Les élevages infestés se procurant leur paille exclusivement dans d'autres exploitations sont deux fois plus nombreux en proportion que les élevages indemnes (52 % contre 24 %). Cet achat de paille à l'extérieur peut potentiellement être à l'origine de l'introduction de puces.
- Les élevages infestés ont deux fois plus recours aux antiparasitaires externes sur les petits ruminants que les élevages indemnes (respectivement 26 % contre 10 %) et utilisent à 80 % des produits à base de deltaméthrine (pyréthrianoïde).

C. Caractérisation et gestion des infestations par les puces

Dans le cadre de la réalisation du questionnaire, nous avons souhaité évaluer les points suivants : (i) effets psychologiques causés par les infestations, (ii) caractérisation de la nuisance associée (iii) conséquences cliniques des infestations chez les petits ruminants et chez l'Homme (iv) investigation de l'origine des infestations, (v) moyens de lutte mis en place dans les élevages infestés et mesures sanitaires générales dans l'ensemble des élevages inclus dans l'étude.

a. Evaluation des effets psychologiques causés par les infestations

Afin d'évaluer les effets psychologiques et le mal-être associé à ces infestations, il a été demandé aux éleveurs d'attribuer un score allant de 1 à 10 sur le désagrément causé par ces infestations (Figure 24-A), et sur la motivation à en venir à bout (Figure 24-B). Les résultats sont présentés ci-dessous.

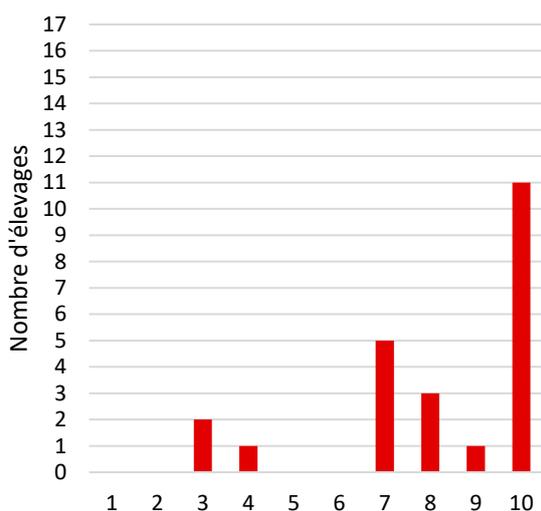


Figure 24 - A : Désagrément causé par l'infestation (notation de 1 à 10) dans les élevages infestés (n=23)

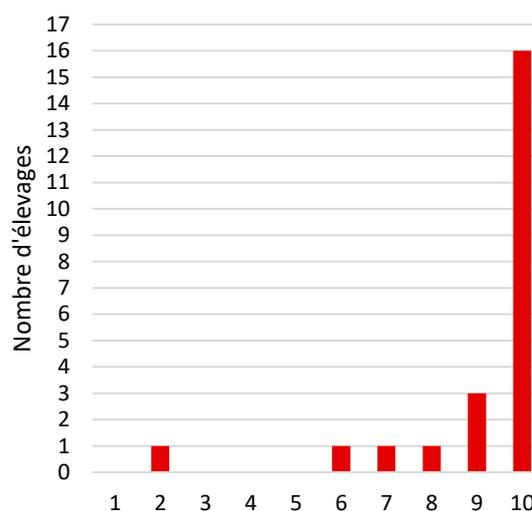


Figure 24 - B : Motivation à éradiquer les puces (notation de 1 à 10) dans les élevages infestés (n=23)

Une très grande majorité des élevages (87 %) donne un score supérieur ou égal à 7 sur 10 concernant le désagrément dont elles sont responsables. Il en est de même pour la volonté de mettre fin à cette problématique, pour laquelle 83 % des élevages répondent un score supérieur ou égal à 9 sur 10. La moyenne de ces scores est respectivement de 8,2 et 9,1 sur 10. Ces infestations représentent donc effectivement un problème sanitaire majeur particulièrement éprouvant psychologiquement du point de vue des éleveurs.

b. Caractérisation de la nuisance subie par les éleveurs

Dans cette partie, nous nous intéressons à caractériser plus précisément la nuisance subie par les éleveurs. Pour cela, il leur a été demandé les informations suivantes : ancienneté de l'infestation, gradation de la nuisance au cours de l'année en lien avec la gestion des troupeaux, et les lieux où sont retrouvées les puces dans les élevages.

i. Ancienneté de l'infestation

L'ancienneté des infestations est présentée dans la Figure 25 ci-dessous.

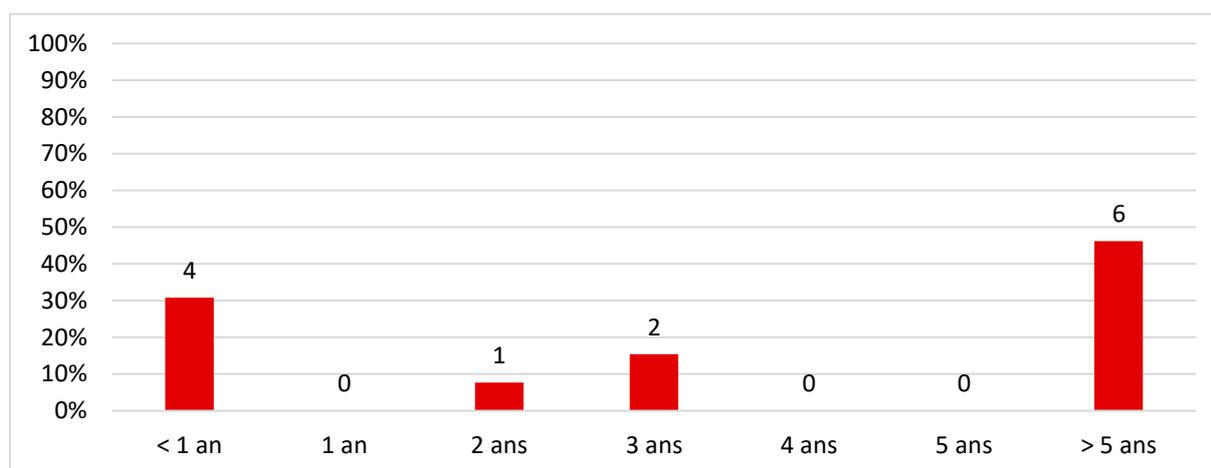


Figure 25 : Ancienneté de l'infestation par les puces dans les élevages actuellement infestés (n=13)

La moitié des élevages actuellement infestés le sont depuis plus de 5 ans. Il est toutefois important de noter que 4 élevages (30 %) subissent les infestations depuis moins d'un an, ce qui témoigne du fait que cette problématique est toujours d'actualité.

ii. Caractérisation de la nuisance en lien avec la gestion des troupeaux

Dans le but de mieux comprendre quels liens peuvent être présents entre la gestion des troupeaux et la nuisance associée aux infestations, il est demandé aux éleveurs infestés d'indiquer les mois de l'année pour lesquels ils jugent que la nuisance liée à la présence des puces est maximale d'une part (Figure 26), mais également ceux pour lesquels les animaux sont exclusivement en pâture (Figure 27) ou exclusivement dans les bâtiments (Figure 28) d'autre part. Les résultats sont présentés dans les trois figures ci-dessous.

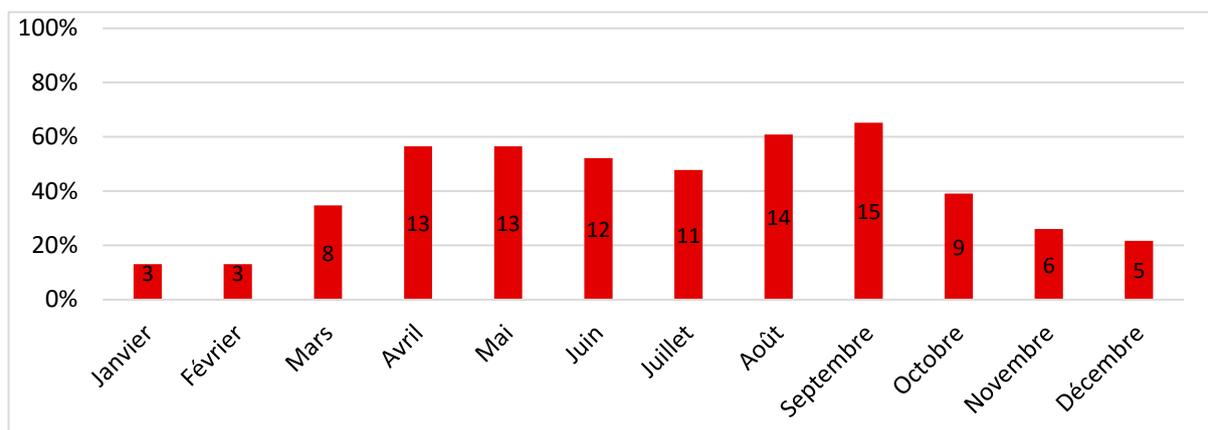


Figure 26 : Pourcentages d'élevages infestés (n=23) pour lesquels la nuisance liée aux puces est considérée comme maximale au cours de l'année

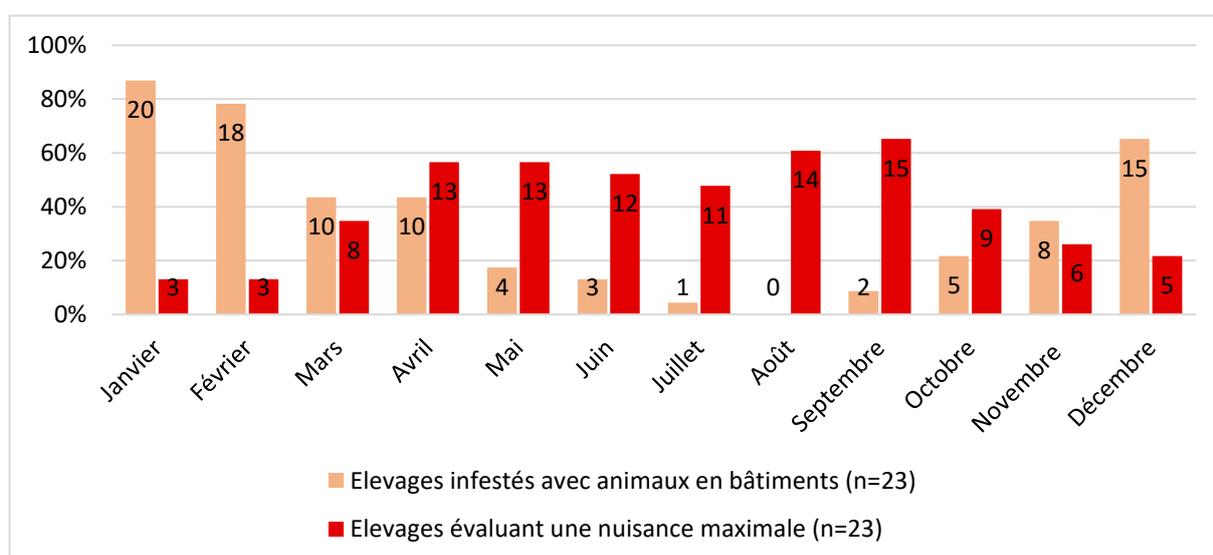


Figure 27 : Pourcentages d'élevages infestés pour lesquels la nuisance liée aux puces est considérée comme maximale et les animaux sont à l'intérieur au cours de l'année

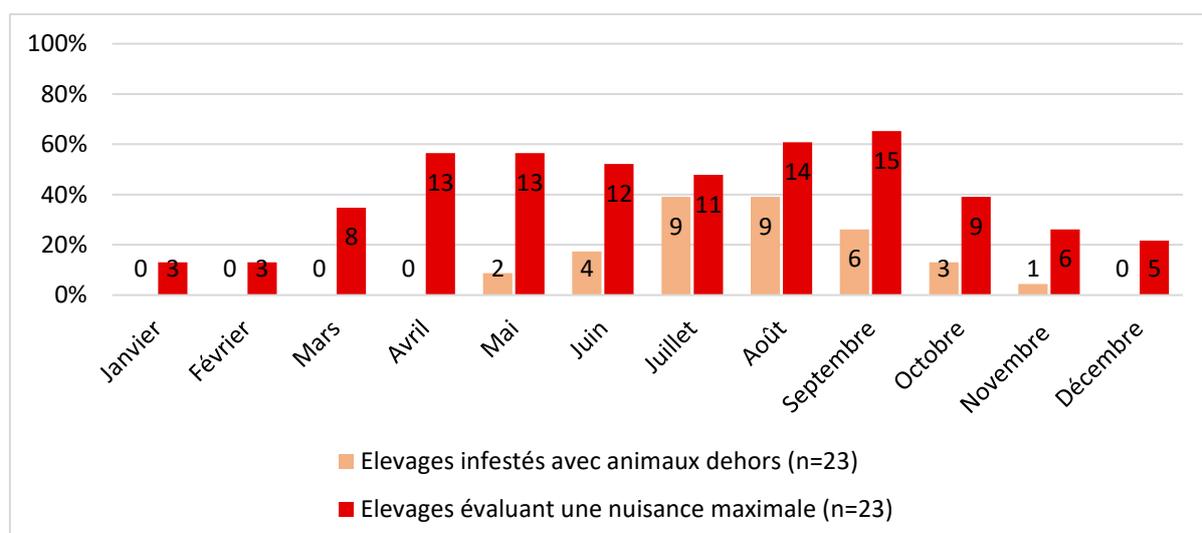


Figure 28 : Pourcentages d'élevages infestés pour lesquels la nuisance liée aux puces est considérée comme maximale et les animaux sont à l'extérieur au cours de l'année

Ces résultats attestent de plusieurs phénomènes expliqués ci-dessous.

D'après les réponses des éleveurs, la nuisance liée aux puces est plus importante au printemps et en été, puis diminue pendant l'hiver. En effet, 52 à 65 % des élevages infestés estiment que la nuisance liée à l'infestation est maximale entre les mois d'avril à septembre, avec toutefois une légère baisse au mois de juillet (48 %).

Nous observons également que la période de nuisance maximale est associée à l'absence (ou quasi-absence) des animaux en bâtiment (le jour et/ou la nuit).

La nuisance est observée de façon plus importante pour les éleveurs pendant la période estivale. Cela peut s'expliquer d'une part par les conditions environnementales (température, humidité) plus favorables au déroulement du cycle des puces, et d'autre part par l'absence des animaux au sein des bâtiments : les puces nouvellement écloses parasitent alors préférentiellement les éleveurs.

iii. Localisation des puces retrouvées dans les élevages infestés

Il a ensuite été demandé aux éleveurs les lieux où les puces sont préférentiellement retrouvées. Les résultats sont présentés sur la Figure 29.

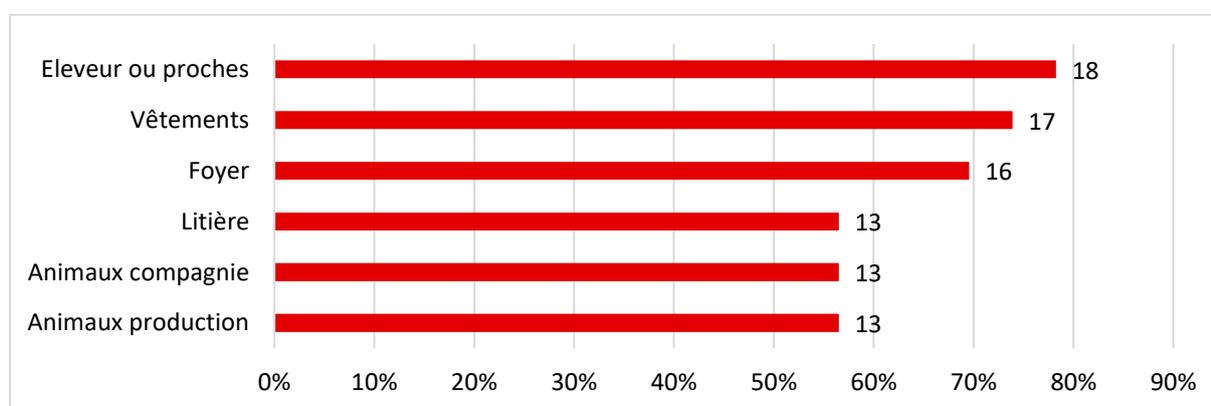


Figure 29 : Répartition des puces retrouvées dans les élevages infestés (n=23)

Ces chiffres montrent tout d'abord que l'infestation est généralisée. En effet, plus de 57 % des éleveurs attestent retrouver les puces dans l'ensemble des localisations proposées c'est-à-dire sur tous les animaux, dans les bâtiments d'élevage, dans leur habitation mais également directement sur eux-mêmes et leurs proches. De plus, dans 78 % des élevages infestés, des puces ont été retrouvées directement sur les humains (habits de travail), faisant de cette localisation la réponse majoritaire, et confirmant ainsi la dimension de santé publique de cette problématique.

c. Conséquences des infestations par les puces

Dans cette partie, nous évaluons dans les élevages infestés les conséquences cliniques que peuvent avoir les infestations chez les petits ruminants ainsi que chez les humains.

i. Chez les petits ruminants

Dans un premier temps, il a été demandé aux éleveurs de décrire les modifications de comportement ou les lésions cutanées observées directement sur les animaux. Nous avons retranscrit ces signes dans la Figure 30 ci-dessous, en les remplaçant par les termes médicaux appropriés (cf questionnaire Annexe 1).

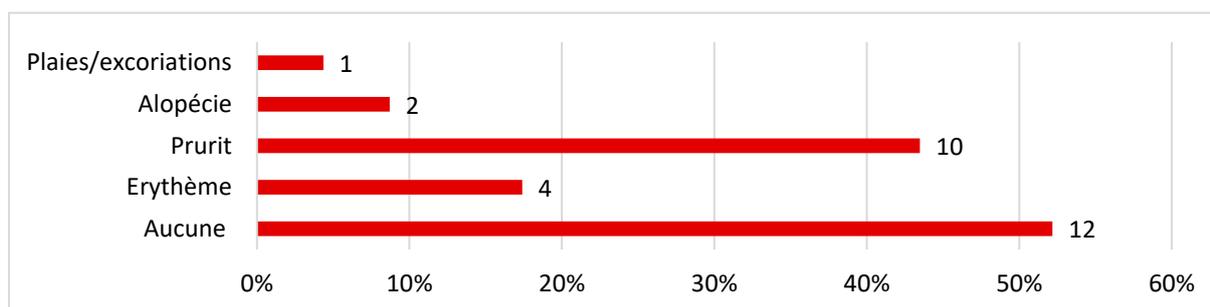


Figure 30 : Conséquences cliniques observées chez les petits ruminants dans les élevages infestés (n=23)

Les animaux sont globalement peu impactés par la présence de puces. En effet, 52 % des élevages infestés déclarent n'observer aucune répercussion clinique sur leurs animaux. Toutefois, le signe le plus observé est le prurit, dans 43 % des élevages. En revanche, les lésions cutanées sont beaucoup plus rares et concernent pour chaque signe observé, moins de 17 % des élevages.

Il est à noter qu'en fonction des élevages, les animaux touchés peuvent présenter un ou plusieurs des signes cliniques décrits ci-dessus (Tableau 11).

Nombre de signes cliniques observés chez les petits ruminants	Aucun	1 seul	2	3 ou plus
Nombre d'élevages concernés	52 % (12/23)	9 % (2/23)	22 % (5/23)	17 % (4/23)

Tableau 11 : Répartition du nombre de signes cliniques chez les petits ruminants, dans les élevages où ils sont observés (n=23)

Les catégories d'animaux préférentiellement touchées ont ensuite été demandées aux éleveurs. Ils peuvent ainsi renseigner s'il s'agit plutôt des jeunes, des adultes, de toutes les catégories d'âge sans distinction ou d'aucune d'entre elles. Les résultats sont renseignés dans la Figure 31 ci-dessous.

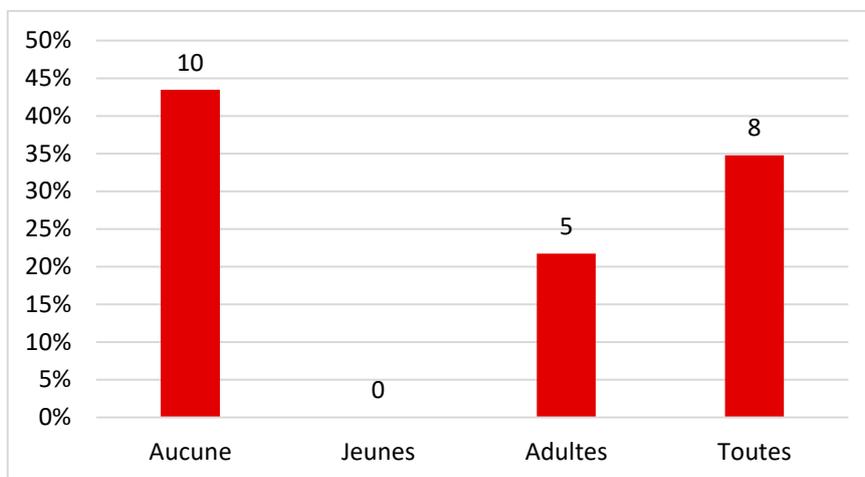


Figure 31 : Catégories d'animaux préférentiellement touchés par les puces dans les élevages infestés (n=23)

Contrairement aux informations trouvées dans la littérature, ces données montrent que les jeunes ne font pas partie des animaux préférentiellement touchés par les puces. De même, nous observons que les animaux semblent généralement peu parasités. Toutefois, il est observé que dans 22 % des élevages, les adultes sont préférentiellement touchés par rapport aux jeunes.

ii. Chez les humains

Il a par la suite été demandé aux éleveurs d'indiquer les principaux signes cliniques associés à la présence de puces sur eux-mêmes et/ou les membres de leur famille (Figure 32).

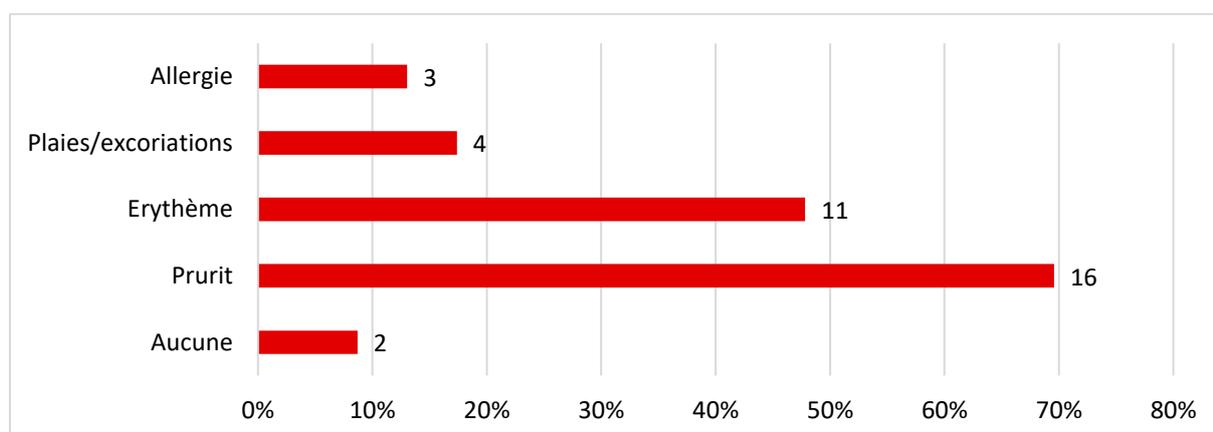


Figure 32 : Conséquences cliniques observées dans les élevages infestés (n=23) chez les humains : l'éleveur.se et/ou ses proches

Les signes cliniques associés aux infestations par les puces sont observés chez l'Homme dans 91 % des élevages. Le prurit est le premier signe observé, suivi de l'érythème. Dans une proportion plus faible, des signes plus marqués ont été observés, tels que des lésions d'excoriation ou des réactions allergiques.

Il est à noter que les humains touchés dans les élevages infestés peuvent présenter un ou plusieurs signes. La répartition du nombre de signes cliniques observés chez les êtres humains est présentée dans le Tableau 12 ci-dessous

Nombre de signes cliniques observés chez les êtres humains	Aucun	1 seul	2	3 ou plus
Nombre d'élevages concernés	9 % (2/23)	44 % (10/23)	30 % (7/23)	17 % (4/23)

Tableau 12 : Répartition du nombre de signes cliniques chez les êtres humains dans les élevages où ils sont observés (n=23)

Les catégories d'individus préférentiellement affectés par ces infestations ont été recensées auprès des éleveurs, entre les enfants, les femmes, les hommes ou tous les individus sans distinction. Une option de réponse [Autre] avait été laissée libre pour les répondants à l'enquête, et il s'est avéré qu'elle était souvent complétée par une catégorie correspondant à des individus considérés comme « plus sensibles » que les autres, et ce indépendamment de leur sexe ou de leur âge. L'option de réponse [Personnes dites « sensibles »] a donc été ajoutée. Les résultats sont présentés dans la Figure 33.

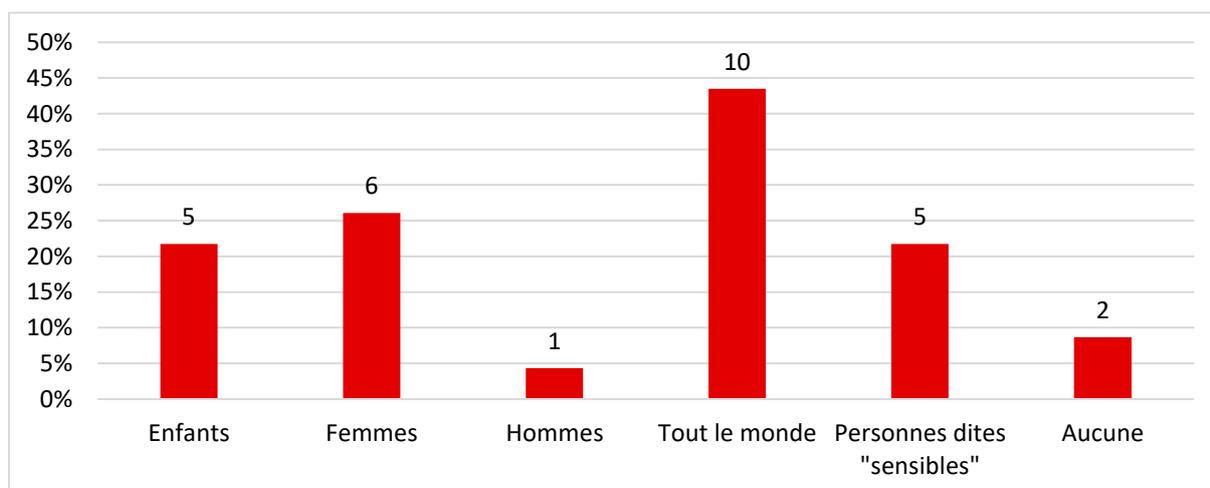


Figure 33 : Catégories d'individus préférentiellement touchés par les puces dans les élevages infestés (n=23)

Ces données confirment ainsi l'impact important de ces infestations chez l'Homme. De plus, dans la plus grande part des élevages (43 %), toutes les catégories d'individus sont touchées, et ce indépendamment de leur sexe ou de leur âge. Il est toutefois important de noter qu'un phénomène de sensibilité particulière aux piqûres de puces est observé dans 22 % des élevages.

d. Hypothèse de l'origine de l'infestation dans les élevages touchés

Dans cette partie, il a été demandé aux éleveurs d'émettre leurs hypothèses quant à l'origine de l'infestation par les puces dans leur exploitation. Plusieurs possibilités ont été recensées : la reprise d'un élevage déjà infesté, l'achat de paille ou de foin infesté, l'achat d'animaux infestés, une visite (dite « active ») dans un élevage infesté, une visite (dite « passive ») d'une tierce personne en provenance d'un élevage infesté, ou l'absence d'hypothèse. Ces résultats sont présentés dans la Figure 34.

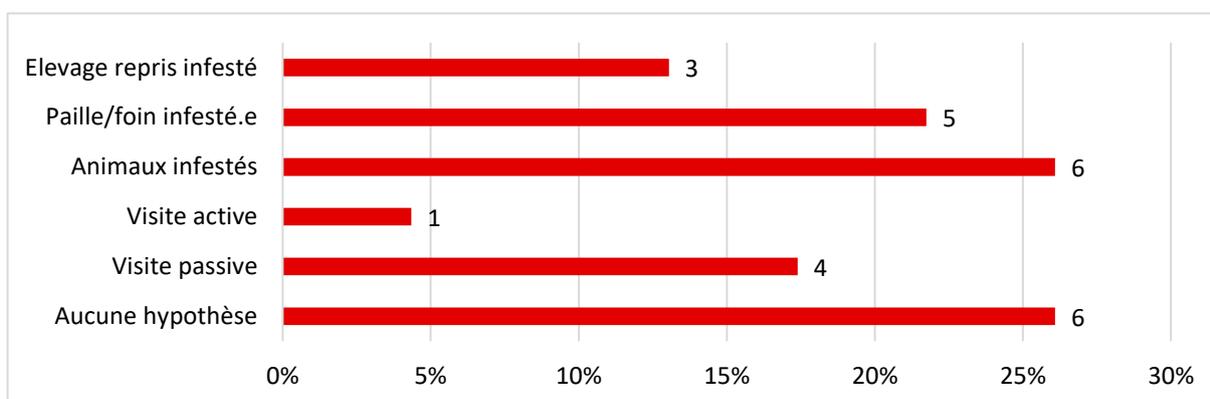


Figure 34 : Répartition des hypothèses de l'origine de l'infestation selon l'éleveur dans les élevages infestés (n=23)

Dans plus d'un élevage infesté sur quatre, l'origine de l'infestation est inconnue. La même proportion d'élevages (26 %) déclare que l'introduction d'animaux infestés par les puces dans l'élevage est à l'origine du problème.

Les témoignages des éleveurs nous ont permis de caractériser les infestations par les puces et de souligner notamment que :

- Ces infestations provoquent un fort impact psychologique sur les éleveurs avec des scores de nuisance ressentie et de volonté à y mettre fin évalués en moyenne respectivement à 8,2/10 et 9,1/10.
- L'infestation est parfois ancienne, datant de plus de 5 ans dans 46 % des élevages, mais l'origine reste inconnue ou serait la conséquence de l'achat d'animaux infestés dans plus d'un élevage sur quatre.
- Sur l'année, les périodes de nuisance maximale ressentie par les éleveurs sont situées entre les mois d'avril et septembre pour 48 à 65 % des élevages, correspondant à des périodes où les animaux ne sont pas en bâtiment.
- En plus des bâtiments d'élevage, les puces sont recensées à plusieurs endroits : dans plus de 70 % des cas, elles sont notamment retrouvées sur l'éleveur et ses proches, dans ses vêtements et son foyer.
- La présence des puces n'affecte aucunement les petits ruminants dans plus de la moitié des élevages. Chez les humains en revanche, ces infestations sont lourdes de conséquences. Des signes cliniques sont observés chez l'Homme dans 91 % des élevages infestés. Du prurit est recensé dans 70 % des foyers touchés, avec des réactions cutanées comme de l'érythème, de l'allergie ou même des lésions d'excoriations dans 18 à 48 % des foyers.
- Chez les humains, des individus caractérisés comme « sensibles » aux piqûres de puces sont préférentiellement touchés, indépendamment de leur sexe ou de leur âge, dans près d'un élevage sur quatre.

e. Pratiques d'élevage : hygiène et prévention dans les bâtiments

Dans cette partie, nous nous attachons à décrire les méthodes de lutte mises en place par les éleveurs infestés. Une première partie s'intéresse aux mesures de lutte mises en œuvre face à l'infestation, chez les éleveurs infestés actuellement et par le passé. Les parties suivantes comparent les pratiques d'hygiène générales effectuées cette fois dans les élevages indemnes et infestés (curage du fumier, désinfection et traitements insecticides dans les bâtiments d'élevage).

i. Plan de lutte mis en œuvre face à l'infestation

Nous nous intéressons aux plans de lutte mis en place dans les élevages. Dans un premier temps, il est intéressant de noter la durée pendant laquelle les éleveurs infestés par le passé ont eu à faire face à la nuisance liée aux puces. Ainsi, le Tableau 13 ci-dessous recense la durée de l'infestation avant éradication, chez les éleveurs infestés par le passé.

Durée de l'infestation	1 an	2 ans	4 ans	6 ans
Nombre d'éleveurs (n=10)	4/10	2/10	1/10	3/10

Tableau 13 : Durée de l'infestation par les puces chez les éleveurs infestés par le passé

Pour tous ces éleveurs, de nombreux processus d'éradication ont été essayés au moins une fois par année d'infestation, en général pendant la période estivale pour laquelle la nuisance semble maximale et les animaux sont à l'extérieur, rendant le traitement plus facile. Le détail de l'ensemble des mesures mises en place au cours des années de lutte n'a pas pu être présenté, les diverses informations rassemblées n'étant pas suffisamment claires, précises ni faciles à catégoriser. Toutefois, à propos des élevages infestés, les résultats présentés ci-dessous concernent l'ensemble des mesures mises en place au cours de la dernière année de lutte, c'est-à-dire celles qui se sont avérées efficaces. Face à la grande diversité des réponses obtenues, l'ensemble de ces mesures a été classé en cinq grandes catégories : (i) un curage de la litière et du fumier, associé ou non à un nettoyage du bâtiment, (ii) l'application d'insecticide dans le bâtiment, (iii) le respect d'un vide sanitaire, (iv) le traitement aux antiparasitaires externes des animaux de production et/ou domestiques et (v) une gestion complémentaire de l'infestation dans le foyer (lavage intensif du linge infesté, fumigènes, ...). La Figure 35 ci-dessous donne une comparaison des pourcentages d'élevages ayant effectué chaque grand principe de lutte, entre les élevages infestés actuellement et par le passé.

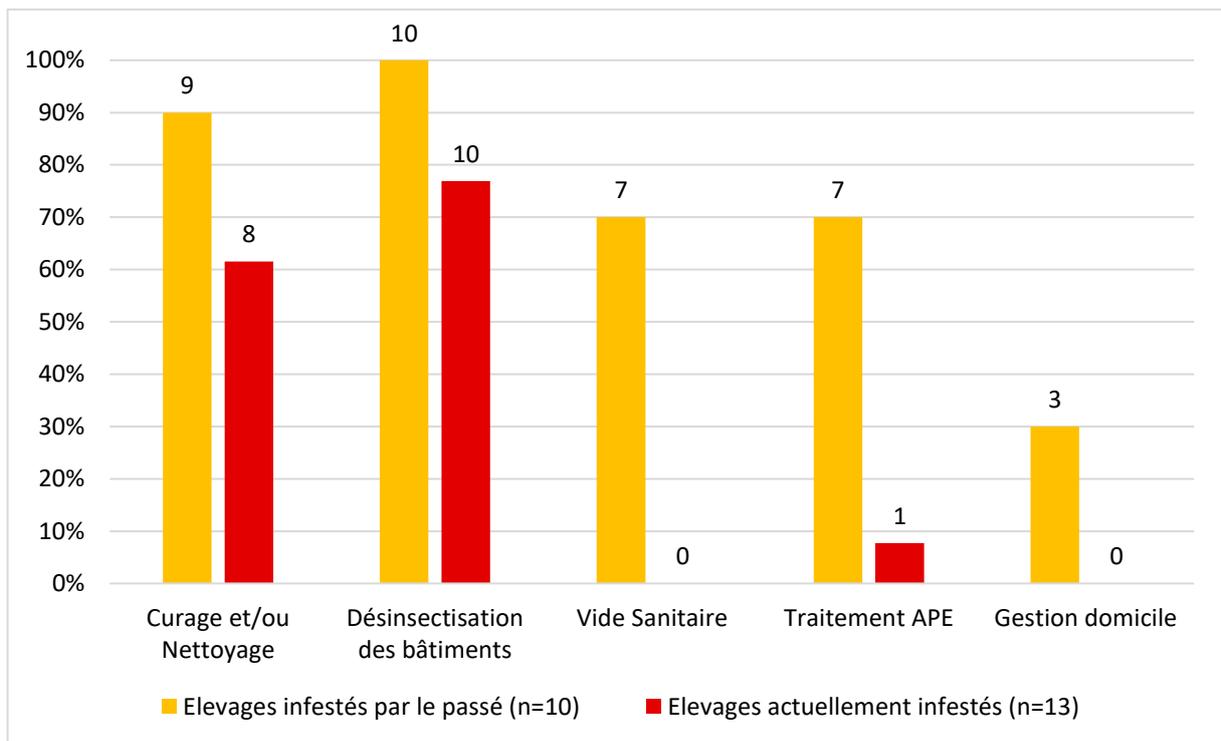


Figure 35 : Mesures de lutte effectuées dans les élevages infestés actuellement et par le passé

Chaque mesure de lutte, prise individuellement, a été plus souvent réalisée chez les éleveurs ayant éradiqué les puces que chez ceux encore infestés. Trois mesures semblent efficaces dans la gestion de l'infestation, au moins en partie. En effet, elles ont été effectuées quasi-exclusivement chez les éleveurs ayant été infestés par le passé. Il s'agit de la réalisation d'un vide sanitaire, du traitement aux antiparasitaires externes des animaux et d'une gestion de l'infestation du domicile.

A chaque catégorie de mesures de lutte présentée dans le graphique précédent peuvent correspondre plusieurs processus effectivement mis en œuvre dans les élevages. Etant limités par la faible précision des réponses que permet le questionnaire, nous avons dû recontacter les éleveurs ayant éradiqué les puces afin d'obtenir plus de détails sur les mesures mises en place. Ces différentes mesures sont présentées dans le Tableau 14 ci-dessous :

Principe de lutte	Mesures effectuées et nombre d'éleveurs concernés (n=10)
Curage et/ou Nettoyage	Curage complet : 9/10 <ul style="list-style-type: none"> Nettoyage à l'eau sous pression (sol en béton) : 3/9 Brûlage du sol à la flamme ou en mettant feu à la paille (sol en terre battue) : 2/9
Désinsectisation des bâtiments	Insecticide ou produit naturel au sol et sur les murs : 10/10 <ul style="list-style-type: none"> Pyréthroïdes : 3/10 Organophosphorés : 2/10 Produits naturels (terre de diatomée, huiles essentielles) : 2/10 Produit inconnu : 3/10
Vide sanitaire	Vide sanitaire de plusieurs semaines à la suite de l'application des traitements insecticides dans les bâtiments : 7/10
Traitement APE	Traitement avant la sortie en estive et avant la rentrée en bâtiment avec du Butox® (Deltaméthrine) : 2/10
	Traitement des animaux de compagnie en parallèle du traitement des bâtiments (et respect des fréquences d'administration depuis) : 6/10 <ul style="list-style-type: none"> Bravecto® (Fluralaner) : 4/6 Nexgard® (Afoxolaner) : 1/6 Comfortis® (Spinosad) : 1/6
Gestion du foyer	Lavage du linge à plus de 60°C : 3/10 <ul style="list-style-type: none"> Fumigène à base d'huiles essentielles : 1/3 Fumigène à base de Permethrine + Méthoprène : 1/3

Tableau 14 : Résumé des différentes mesures de lutte mises en place dans les élevages anciennement infestés

De plus, parmi ces cinq catégories de mesures de lutte, certaines ont été effectuées simultanément. La Figure 36 présente le nombre de mesures mises en œuvre simultanément pour combattre la nuisance liée aux puces, en comparant ce qui a été fait dans les élevages actuellement infestés et ceux qui ont pu en venir à bout.

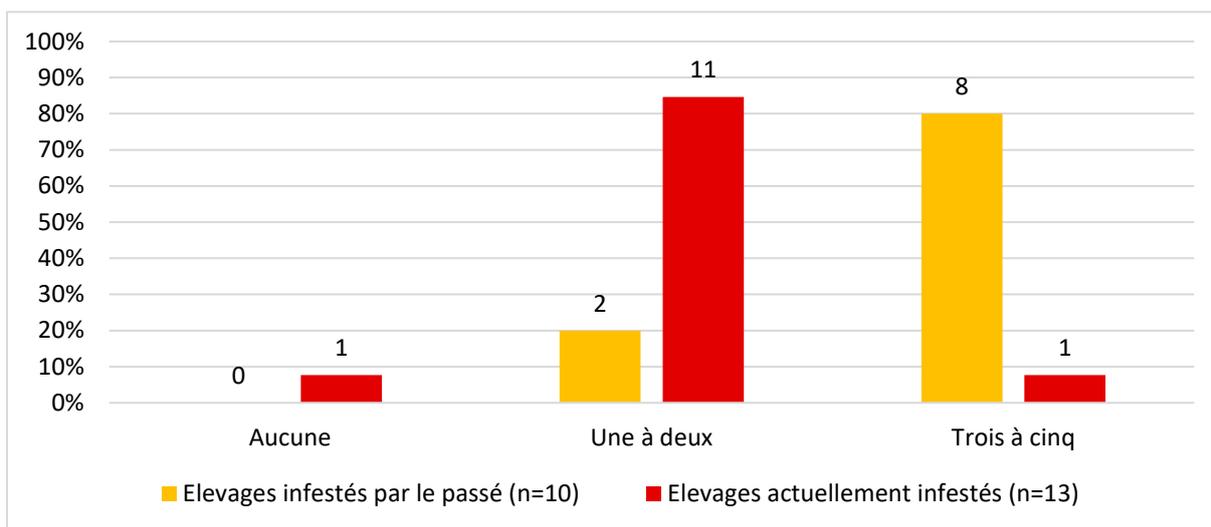


Figure 36 : Nombre de mesure de lutte mises en œuvre simultanément : comparaison entre élevages infestés actuellement et par le passé

Ces résultats montrent que les éleveurs ayant pu éradiquer les infestations ont déployé simultanément davantage de moyens de lutte que ceux toujours infestés. En effet, 80 % des élevages infestés par le passé ont mis en œuvre 3 à 5 principes de lutte, contre 8 % de ceux actuellement infestés. D'autre part, 85 % des élevages encore actuellement infestés n'ont déployé que 1 à 2 moyens de lutte, tandis que cela ne concerne que 20 % des élevages infestés par le passé, probablement du fait d'une infestation de faible intensité.

En somme, l'ensemble de ces résultats montre que la lutte contre les puces doit être intégrée et exhaustive et que la diversité des moyens mis en œuvre chez les éleveurs encore actuellement infestés ne semble pas suffisante.

ii. Curage du fumier

Il est demandé aux éleveurs la fréquence à laquelle ils curent le fumier de leurs bâtiments d'élevage. Une grande diversité de fréquences était disponible dans les résultats mais il a été décidé de les classer en trois catégories, moins d'une fois par an, entre deux et quatre fois par an, et plus de quatre fois par an. Les résultats sont présentés dans la Figure 37 ci-dessous.

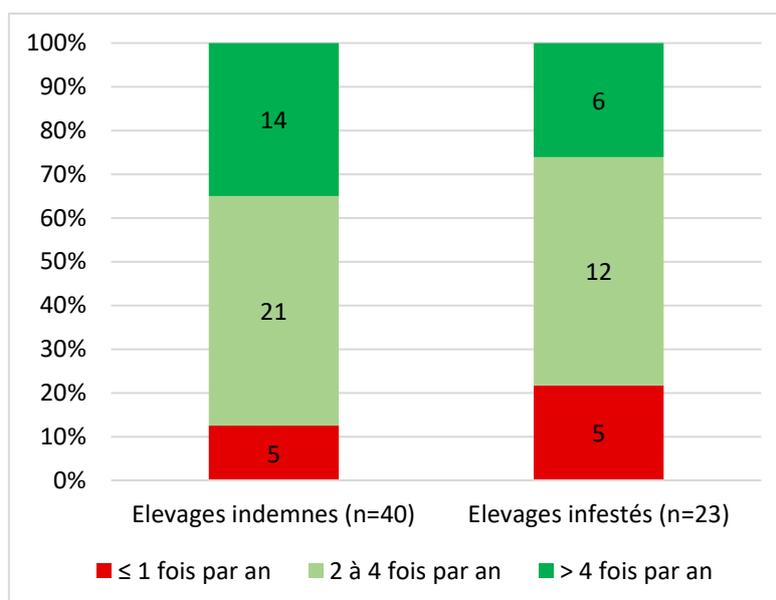


Figure 37 : Comparaison des fréquences de curage du fumier dans les élevages infestés et indemnes de puces

Ces résultats montrent d'une part que la proportion d'élevages effectuant moins d'un curage par an est plus importante dans les élevages infestés (22 %) que dans les élevages indemnes (12 %). D'autre part, la proportion d'éleveurs effectuant plus de 4 curages par an est plus faible chez les infestés que chez les indemnes. En somme, il semblerait que les élevages infestés curent globalement moins fréquemment que les élevages indemnes.

iii. Désinfection des bâtiments d'élevage

En deuxième lieu, les pratiques de désinfection des bâtiments d'élevage ont été évaluées. La désinfection peut être définie comme l'ensemble des moyens de lutte chimique utilisés contre les micro-organismes dans les bâtiments, après avoir effectué un nettoyage. Malgré une grande confusion des éleveurs entre les produits détergents, désinfectants et les traitements insecticides, les réponses ont été triées à l'aide des noms des produits renseignés par les éleveurs. Ainsi, dans le Tableau 15 ci-dessous sont recensées les proportions d'élevages qui effectuent une désinfection systématique des bâtiments (c'est-à-dire de manière prophylactique), parmi les élevages infestés et indemnes de puces.

	Elevages indemnes (n=40)	Elevages infestés (n=23)
Désinfection systématique des bâtiments	29 % (12/40)	43 % (10/23)
Absence de désinfection systématique	71 % (28/40)	57 % (13/23)

Tableau 15 : Proportion d'élevages réalisant une désinfection systématique dans les bâtiments infestés et indemnes de puces

Ces résultats montrent que la proportion des élevages effectuant une désinfection est plus importante parmi les élevages infestés (43 %) que parmi les indemnes (29 %). Un nettoyage correct est considéré comme un processus visant à éliminer toutes les souillures organiques. Il permet une plus grande efficacité du désinfectant appliqué ensuite. Ainsi, le seul curage du fumier peut s'avérer insuffisant pour pouvoir effectuer une bonne désinfection. Pourtant, plus de 85 % des éleveurs infestés et indemnes effectuent seulement un curage de leur bâtiment en lieu de nettoyage. Ces données questionnent donc sur l'utilité des produits désinfectants utilisés, probablement appliqués directement sur de la matière organique.

Parmi les élevages qui effectuent une désinfection des bâtiments, il a été demandé aux éleveurs le type de produit désinfectant qu'ils utilisaient. Un large panel de propositions de noms déposés de désinfectants a été obtenu dans les réponses. Pour chacun d'eux, le type de produit a précisément été identifié et les désinfectants utilisés ont alors pu être classés en plusieurs catégories : monopersulfate de potassium, acide sulfamique, acide malique (Virkon®), hypochlorite de sodium (eau de Javel), dérivés phénoliques (Prophyl75®), ammonium quaternaire et glutaraldéhyde (TH5®, Mefisto shock®, Saniterpen 90®), chaux vive ou produits à base de chaux (Saniblanco®, Asséchant litière de marque inconnue), ou encore la désinfection sous-traitée par la confédération de Roquefort. Les proportions d'élevages utilisant ces différents désinfectants sont présentées dans la Figure 38 ci-dessous.

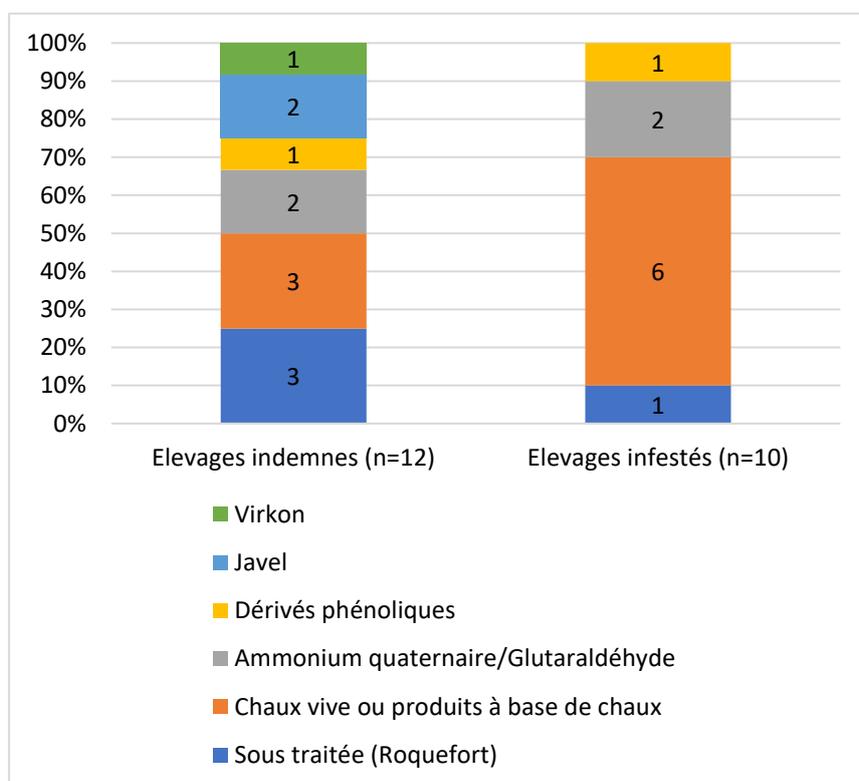


Figure 38 : Types de désinfectants utilisés dans les bâtiments des élevages infestés et indemnes de puces

Les élevages infestés utilisent la chaux vive ou les produits asséchants pour litière à base de chaux, de façon beaucoup plus importante que les élevages indemnes. La chaux vive (CaO) présente un pH très alcalin et est très hydrophile, ce qui lui confère des propriétés désinfectantes et asséchantes. D'après les réponses obtenues, son utilisation concerne 60 % des élevages infestés contre 25 % des indemnes. En outre, la désinfection sous-traitée à la confédération de Roquefort concerne une part plus importante des élevages indemnes (25 %) par rapport aux élevages infestés (10 %). En revanche, le Virkon® et la Javel® sont uniquement utilisés dans les élevages indemnes à raison de 8 % et 17 % respectivement.

iv. Traitements insecticides dans les bâtiments d'élevage

Enfin, les pratiques concernant l'utilisation de traitements insecticides dans les élevages ont été évaluées. Dans un premier temps, il est demandé aux éleveurs s'ils ont déjà effectué une désinsectisation dans leurs bâtiments d'élevage. Les pourcentages obtenus sont donnés dans le Tableau 16 ci-dessous.

	Elevages indemnes (n=40)	Elevages infestés (n=23)
Désinsectisation des bâtiments	43 % (17/40)	65 % (15/23)
Absence de désinsectisation des bâtiments	57 % (33/40)	35 % (8/23)

Tableau 16 : Proportion d'élevages ayant réalisé une désinsectisation dans les bâtiments d'élevage infestés et indemnes de puces

Ces résultats montrent que la proportion d'élevages ayant déjà eu recours à des traitements insecticides dans les bâtiments d'élevage est plus élevée dans les élevages infestés que dans les élevages indemnes. En effet, cela concerne 65 % des élevages infestés contre 43 % des indemnes. Si les bâtiments d'élevage sont infestés, il semblerait que les éleveurs aient davantage recours à des traitements insecticides.

Parmi ces élevages dans lesquels des traitements insecticides sont utilisés dans les bâtiments, les fréquences d'utilisation de ces traitements sont renseignées. Les résultats correspondants sont présentés dans la Figure 39.

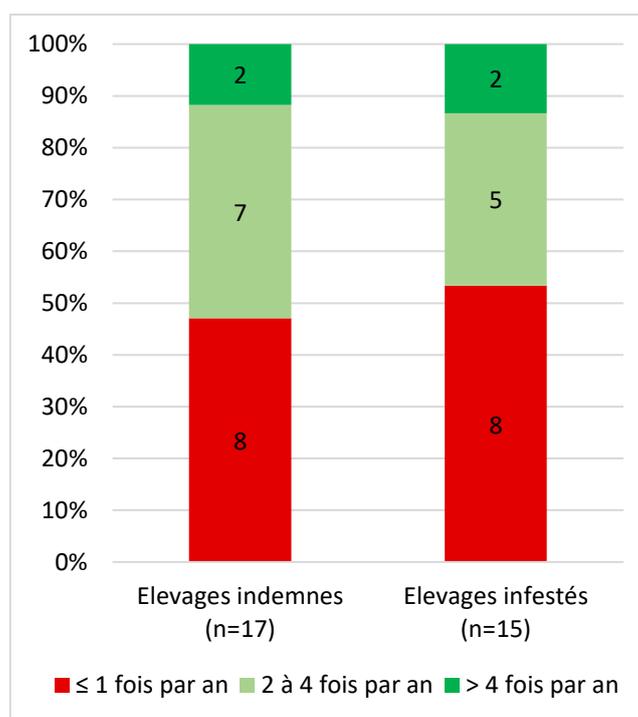


Figure 39 : Fréquence de traitement insecticide dans les bâtiments des élevages infestés et indemnes de puces

Les fréquences de désinsectisation dans les élevages sont en revanche relativement identiques entre élevages infestés et indemnes de puces. En effet, environ 50 % des élevages ont recours aux insecticides moins d'une fois par an, 2 à 4 fois par an pour 33 à 41 % d'entre eux et environ 12 % y ont recours plus de 4 fois par an.

Les insecticides utilisés par les éleveurs appartiennent aux classes chimiques suivantes : néonicotinoïdes (Moscarex[®], Quickbayt[®]) et pyréthrinoïdes (Saniterpen DK choc[®], K-Ohtrine[®], Fourmiclac[®]), régulateurs de croissance tels que la cyromazine (Neporex[®]), et enfin des produits naturels (pyrèthres et produits à base de pyrèthres). Les pourcentages d'utilisation de ces différents types de produits dans les élevages infestés et indemnes sont présentés dans le tableau 17 ci-dessous.

	Néonicotinoïdes	Pyréthrinoïdes	Régulateurs de croissance	Produits naturels	Traitement inconnu
Elevages indemnes (n=18)	28 % (5/18)	0 % (0/18)	22 % (4/18)	11 % (2/18)	39 % (7/18)
Elevages infestés (n=15)	13 % (2/15)	27 % (4/15)	20 % (3/15)	20 % (3/15)	20 % (3/15)

Tableau 17 : Classes chimiques d'insecticides utilisés dans les bâtiments d'élevage

Les pyréthrinoïdes sont utilisés exclusivement dans les élevages infestés. Les néonicotinoïdes sont davantage utilisés dans les élevages indemnes (28 % d'entre eux) que dans les élevages infestés (13 % d'entre eux). Le constat est le même pour les régulateurs de croissance, mais dans des proportions moindres (respectivement 22 % contre 20 %). Les produits naturels à base de pyrèthres sont quant à eux davantage utilisés dans les élevages infestés que dans les élevages indemnes.

En résumé, concernant les infestations et leur gestion pratique dans les élevages, les résultats montrent que :

- Le curage du fumier dans les élevages infestés se fait moins souvent que dans les élevages indemnes.
- Les éleveurs infestés sont en proportion plus nombreux à désinfecter leurs bâtiments que les éleveurs indemnes. Les produits désinfectants sont divers, mais ceux à base de chaux sont 2,4 fois plus utilisés dans les élevages infestés que dans les élevages indemnes, et représentent 60 % du panel des désinfectants utilisés au sein des élevages infestés.
- 65 % des élevages infestés ont eu recours à l'utilisation de traitements insecticides dans leurs bâtiments, contre seulement 43 % des élevages indemnes. Les pyréthrinoïdes représentent la famille de molécule la plus utilisée dans les élevages infestés, alors qu'aucun élevage indemne n'y a recours.
- Plus précisément, en réponse à l'infestation, nos résultats montrent que 80 % des éleveurs ayant réussi à éradiquer les puces ont mis en œuvre au moins 3 de ces 5 mesures de lutte simultanément : nettoyage des bâtiments, traitement insecticide, vide sanitaire, traitement des animaux aux antiparasitaires externes et gestion de l'infestation dans le foyer.
- Les échecs de traitement observés dans les élevages infestés sont probablement dus à des processus de lutte incomplets.

D. Bilan

En bilan, la problématique liée aux infestations par *P. irritans* dans les élevages de petits ruminants apparaît comme un phénomène complexe et multifactoriel. Toutefois, en extrapolant les résultats de notre enquête, il est intéressant de noter des points communs entre les élevages.

Nous avons ainsi observé que ces élevages regroupaient généralement des ovins et des animaux de compagnie sur le site de l'exploitation. La paille utilisée pour la litière provient uniquement ou en partie d'autres élevages.

L'infestation est généralement ancienne de plusieurs années, et caractérisée par une nuisance maximale entre avril et septembre. Si d'autres animaux de rente sont présents sur l'exploitation, ils ne sont pas concernés par l'infestation. Les puces sont souvent retrouvées dans la litière de la bergerie, mais les ovins ne présentent pas forcément de signes cliniques en lien avec l'infestation. Elles ont en revanche un fort impact psychologique et social pour l'éleveur et sa famille. Les puces sont en effet également retrouvées dans le foyer et dans les vêtements de l'éleveur et de ses proches. Les humains sont principalement touchés par du prurit. Les plans de lutte mis en place ne sont généralement pas satisfaisants et n'ont pas permis une éradication complète. Les insecticides majoritairement utilisés dans les bâtiments sont les pyréthrinoïdes.

III. Collecte et identification des échantillons et recherche d'ADN de *Bartonella* spp.

La deuxième partie de notre travail consiste en l'identification et la recherche d'ADN de *Bartonella* spp. à partir d'échantillons de puces collectés dans les élevages de petits ruminants actuellement infestés. Après avoir exposé les matériels et méthodes utilisés, nous présenterons les résultats obtenus et les discuterons.

1. Matériels et méthodes

Nous détaillons ici les matériels et méthodes utilisés pour les travaux concernant l'étude des échantillons de puces, à savoir la collecte des puces dans les élevages, l'observation microscopique permettant l'identification, et la recherche d'agents pathogènes.

A. Collecte de puces dans les élevages

La collecte de puces a été réalisée entre le mois de septembre 2021 et le mois de juin 2022. Elle a été effectuée dans des élevages situés dans différentes régions du Sud-Ouest de la France. Au total, 172 puces ont été récoltées, dans 9 élevages différents (parmi les 13 élevages infestés qui ont répondu au questionnaire).

a. Lieux de prélèvement

Les puces proviennent ainsi de quatre départements : l'Ariège, l'Aveyron, la Lozère, le Tarn (Figure 40).



Figure 40 : Provenance par département des échantillons de puces collectées

b. Méthodologie de la collecte

Les puces ont été collectées directement par les éleveurs puis envoyées par courrier au service de parasitologie de l'ENVT par leurs soins. Il a pu y avoir différents sites de prélèvements au sein d'un même élevage. En effet les éleveurs ont pu prélever les puces directement sur les petits ruminants, dans la bergerie ou chèvrerie, directement sur eux ou sur leurs animaux domestiques. Le site de prélèvement était précisé pour chaque échantillon.

i. Méthode de prélèvement

Les prélèvements ont été opérés par les éleveurs eux-mêmes. Un mail explicatif avec un protocole à suivre leur avait été envoyé au préalable. Pour faciliter le prélèvement, il leur a été suggéré de déposer un linge blanc sur la litière afin de stimuler l'émergence des cocons et d'y attirer les puces, pour les visualiser et les attraper plus facilement. Lorsque les éleveurs retrouvaient des puces sur eux-mêmes ou sur leurs vêtements de travail (côte, chaussettes, chaussures, ...), il leur a également été demandé de les prélever. Les prélèvements étaient effectués directement avec les doigts. Un peigne fin pouvait être utilisé pour faciliter la collecte sur les animaux de compagnie. Idéalement, il était indiqué de prélever une dizaine de puces par site. Un nombre variable de puces par élevage et par lieu de prélèvement a ainsi pu être collecté.

ii. Méthode de conservation

Une fois récoltées, les puces ont été stockées dans l'alcool à 70° ou 90°, afin de provoquer la mort immédiate des parasites et de conserver l'ADN en vue de nos analyses. Le contenant pouvait varier selon les moyens à disposition de l'éleveur. Il a été recommandé d'utiliser un récipient hermétique afin d'éviter l'évaporation de l'alcool. Il pouvait ainsi s'agir de pots de prélèvements standards à usage médical ou vétérinaire, de petits pots de confiture, ou encore de boîtes pour lentilles de contact. Toutes les puces provenant d'un même site de prélèvement furent rassemblées dans un même pot. Chaque pot était ensuite identifié avec le site de prélèvement ainsi que le nom de l'élevage de provenance. La conservation de ces pots en attendant leur envoi et une fois reçus à l'ENVT s'est faite à température ambiante.

Une fois les prélèvements réalisés, les éleveurs ont envoyé les échantillons au service de parasitologie de l'ENVT, afin qu'ils puissent y être analysés.

B. Observation microscopique et identification

Après réception des échantillons, chaque puce a été observée individuellement à la loupe binoculaire, afin qu'elle soit sexée et son espèce identifiée. L'identification s'est faite à l'aide des critères morphologiques définis dans la partie 1 de cet ouvrage. Le sexe, quant à lui, a été déterminé par observation externe de l'appareil génital de chaque puce, avec notamment la partie distale de l'abdomen redressée vers le haut chez le mâle.

Une fois la diagnose et le sexage effectués, les puces ont été placées dans des microtubes Eppendorf d'1,5 mL contenant de l'éthanol. Toutes les puces appartenant au même sexe et provenant du même élevage et du même site de prélèvement ont été rassemblées dans un même tube. Les tubes ont ensuite été identifiés à l'aide d'un code en trois parties :

- La première partie correspond à l'élevage d'origine, et est constituée de la lettre E (pour élevage) suivi du numéro d'élevage associé. E1 représente donc le premier élevage de prélèvement, E2 le deuxième et ainsi de suite.
- La deuxième partie est formée d'une ou plusieurs lettres correspondant au site de prélèvement. Ainsi, B signifie que les puces proviennent de la bergerie, P des animaux de production, H de l'éleveur, CN des chiens présents dans l'élevage ou le foyer et enfin CT des chats présents dans l'élevage ou le foyer (Tableau 18).
- La troisième partie correspond au sexe, et contient le symbole ♀ pour les femelles et le symbole ♂ pour les mâles.

Site de prélèvement	Lettres associées
Bergerie	B
Animaux de production	P
Eleveur	H
Chien	CN
Chat	CT

Tableau 18 : Lettres associées à chaque site de prélèvement pour le codage des échantillons

Par exemple, le tube codé E1 B ♀ contient toutes les puces femelles collectées dans la bergerie de l'élevage numéro 1.

Pour chaque espèce de puce, un spécimen femelle ainsi qu'un spécimen mâle ont été placés dans un tube contenant du chloral-lactophénol pendant plusieurs semaines afin de les éclaircir. Des photographies ont ensuite été effectuées à l'aide d'une loupe binoculaire (voir ci-dessous).

C. Recherche d'agents pathogènes

a. Extraction d'ADN

Suite à l'identification et au sexage des puces récoltées, une extraction d'ADN individuelle a été effectuée afin de rechercher la présence de l'ADN de bactéries du genre *Bartonella*. Cinq puces au maximum par sexe et par lieu de prélèvement ont été choisies aléatoirement. Pour les catégories regroupant moins de cinq individus, la totalité des puces de ces catégories a été extraite.

L'extraction d'ADN a été réalisée à l'aide du kit NucleoSpin® Tissue (Macherey-Nagel™), en suivant le protocole décrit Figure 41. Premièrement, les puces sont chacune isolées individuellement dans un microtube Eppendorf de 1,5 mL en laissant le surplus d'alcool s'évaporer pendant quelques minutes. Chaque puce est ensuite broyée manuellement à l'aide d'un piston stérile à usage unique. Pour l'étape de pré-lyse, un mélange de 200 µL de tampon T1 et 30 µL de protéinase K est ajouté dans les tubes, puis une incubation au bain-marie à 56°C est réalisée pendant 12 à 24h. Le lendemain, 200 µL d'un tampon spécifique permettant la lyse des membranes cellulaires et nucléaires sont ajoutés dans chaque tube, et une incubation de 10 min à 70°C est effectuée. 210 µL d'éthanol sont ensuite ajoutés et le contenu des tubes est homogénéisé à l'aide d'un vortex. Puis chaque échantillon est transféré dans une colonne à membrane de silice après homogénéisation de la solution. L'ADN est alors retenu par la membrane. Une centrifugation d'une minute à 11 000 g est réalisée. Deux lavages successifs de l'ADN sont effectués à l'aide de 500 µL d'une première solution de lavage, puis 600 µL d'une deuxième solution, avec une centrifugation de 11 000 g après chaque lavage. Une centrifugation supplémentaire est ensuite réalisée pour finir de sécher la membrane. Enfin, l'ADN est récupéré à l'aide de 100 µL d'éluant chauffé au préalable à 70°C. Après l'ajout de l'éluant, une incubation d'une minute à température ambiante est effectuée, suivie d'une centrifugation d'une minute à 11 000 g. Les tubes Eppendorf contenant l'ADN avec l'éluant peuvent ensuite être stockés au congélateur à -18°C, permettant la conservation de l'ADN en attente de son amplification.

Genomic DNA from tissue

Protocol at a glance (Rev.19)

		NucleoSpin® Tissue	
1	Prepare sample		Cut 25 mg into small pieces
2	Pre-lyse sample		200 µL T1 30 µL Proteinase K 56 °C, 12 - 24 h
3	Lyse sample		200 µL B3 70 °C, 10 min
4	Adjust DNA binding conditions		210 µL 96-100% ethanol
5	Bind DNA	 	Load all 11,000 x g, 1 min
6	Wash silica membrane	   	1 st wash 500 µL BW 2 nd wash 600 µL B5 11,000 x g, 1 min
7	Dry silica membrane		11,000 x g, 1 min
8	Elute highly pure DNA	 	100 µL BE RT, 1 min 11,000 x g, 1 min

Figure 41 : Protocole du kit NucleoSpin® Tissue (Macherey-Nagel)

b. Amplification en chaîne par polymérase (ou PCR)

Pour la totalité des puces ayant subi l'extraction d'ADN, deux PCR successives ont été réalisées. Une première a permis de mettre en évidence l'ADN de puce dans nos échantillons, afin de s'assurer de la bonne extraction de l'ADN, et une deuxième a permis la recherche de la présence éventuelle d'ADN de *Bartonella* spp.

De l'ADN de puce *C. felis*, provenant d'un individu de la colonie de l'insectarium de l'ENVT, a été utilisé comme témoin positif pour la PCR permettant de vérifier la présence de l'ADN d'arthropode. De l'ADN pur d'une culture de *Bartonella clarridgeiae* a été utilisé comme témoin positif pour la PCR recherchant l'ADN de *Bartonella* spp. L'extrait pur de culture a été fourni par le groupe de recherche VAMP, de l'UMR BIPAR, ANSES, Maisons-Alfort. Le témoin négatif était constitué d'eau stérile.

Nous avons repris les protocoles (PCR, migration sur gel d'agarose) utilisés dans le travail de thèse de Lafon et Serceau (2019), et qui est présenté à nouveau ci-dessous.

i. Amorces utilisées

Le couple d'amorces Cf18Sf 5'-TGCTCACCGTTTGGACTTGG-3' et Cf18Sr 5'-GTTTCTCAGGCTCCCTCTCC-3' a été utilisé pour amplifier le gène 18S de l'ADN de puce. Ce gène code pour l'ARN 18S des arthropodes. Ce couple d'amorces permet d'amplifier un fragment d'ADN ribosomique de 179 paires de bases (pdb) (Reif et al. 2008).

Le couple d'amorces CS140 5'-TTACTTATGATCCTGGTTTTAC-3' et BhCS.1137n 5'-AATGCAAAAAGAACAGTAAACA-3' a été utilisé pour amplifier le gène *gltA* codant pour la citrate synthase, séquence très conservée chez les Bartonelles (Birtles et Raoult 1996). Elles permettent l'amplification d'un fragment de 1 137 paires de bases.

ii. Préparation des échantillons pour la PCR

Le volume final des échantillons est de 30 µL. Ainsi, chaque puits est rempli avec 20,40 µL d'eau pure, 3 µL de HotFirePol 10X Buffer B2, 3 µL de 25 nM MgCl₂, 0,3 µL de dNTP Mix 20 mM each, 0,3 µL de HotFirePol polymérase 5U/µL, 0,4 µL de chaque amorce (soit 0,8 µL d'amorces au total) et 2 µL d'ADN non dilué. La concentration des amorces était de 50 µmol/L.

iii. Caractéristiques des cycles de PCR

Pour les PCR effectuées, la température de dénaturation initiale et de dénaturation cyclique des brins d'ADN était de 95°C. Celle des phases d'élongation cyclique et d'élongation terminale finale de l'ADN était de 72 °C. La température d'hybridation était de 57 °C et la durée de 30 secondes pour l'amplification du domaine d'intérêt de l'ADN de puce, et de 60,8 °C et 30 secondes pour l'ADN de *Bartonella* spp. Le nombre de cycles effectués était de 35 pour les deux PCR. L'ensemble de ces caractéristiques, correspondant aux thermo-profil, sont présentés dans le Tableau 19.

Un témoin positif et un témoin négatif ont été ajoutés aux échantillons lors des PCR pour contrôler la qualité de l'amplification (absence de contamination, défaut du thermocycleur ou des réactifs par exemple). Les PCR ont été réalisées avec le Thermocycleur GeneTouch de BIOER.

	Dénaturation initiale	Dénaturation	Hybridation	Élongation	Élongation finale	Nombre de cycles
Arthropode	95°C 15 min	95°C 20 sec	57°C 30 sec	72°C 45 sec	72°C 180 sec	35
<i>Bartonella</i> spp.	95°C 15 min	95°C 20 sec	60,8°C 30 sec	72°C 30 sec	72°C 180 sec	35

Tableau 19 : Thermo-profilés utilisés pour chaque PCR

iv. Migration et révélation des produits de PCR

Pour chaque PCR, un gel d'agarose à 2 % dans du tampon TAE (Tris, Acétate, EDTA) à 1X contenant 39 puits a été réalisé. Du Invitrogen™ SYBR™ Safe Stain (Thermo Fisher Scientific, Illkirch-Graffenstaden, France) à 1X, un agent intercalant de l'ADN qui devient fluorescent sous les rayons ultra-violet (UV) du transilluminateur (Vilber Lourmat™ E-BOX™ VX2, version 16.07, Allemagne), a été ajouté à la préparation du gel en quantité égale à 0,01 %. Ensuite, 10 µL d'un mélange de 9 µL de produit de PCR et de 2 µL de tampon de charge (bleu de glycérol, Invitrogen™ BlueJuice™ Gel Loading Buffer, 10X, Thermo Fisher Scientific) ont été déposés dans chaque puits. Un marqueur de poids moléculaire (Invitrogen™ 100 bp DNA Ladder, Thermo Fisher Scientific) a également été introduit dans le premier et le dernier puits de chaque série de 19 ou 20 puits, indiquant la taille des fragments d'ADN toutes les 100 paires de bases de 100 à 1000 pdb puis les tailles de 1200 pdb, 1500 pdb et 2000 pdb. La migration en cuve d'électrophorèse a duré 55 minutes à 100 volts. Les produits d'amplification ont ensuite été visualisés grâce aux UV et photographiés.

2. Résultats

A. Identification et sexage des puces prélevées

Nous avons pu collecter un total de 172 puces, provenant de 9 élevages différents. Parmi toutes ces puces, 65 proviennent de la litière des bâtiments dans lesquels se trouvent les petits-ruminants, 6 proviennent des petits ruminants eux-mêmes, 95 ont été directement prélevées sur les éleveurs ou des membres de leur famille et 6 sur des chiens. Aucune puce n'a été prélevée sur les chats, malgré leur présence dans 4 des 9 élevages concernés.

L'espèce et le sexe de l'ensemble de ces puces ont été identifiés, à l'aide des critères illustrés dans les Figures 42 et 43. Les caractéristiques ayant permis l'identification de l'espèce *Pulex irritans* sont l'absence de cténidies génale et pronotale, la présence d'une soie préoculaire et un front arrondi (Figure 42).

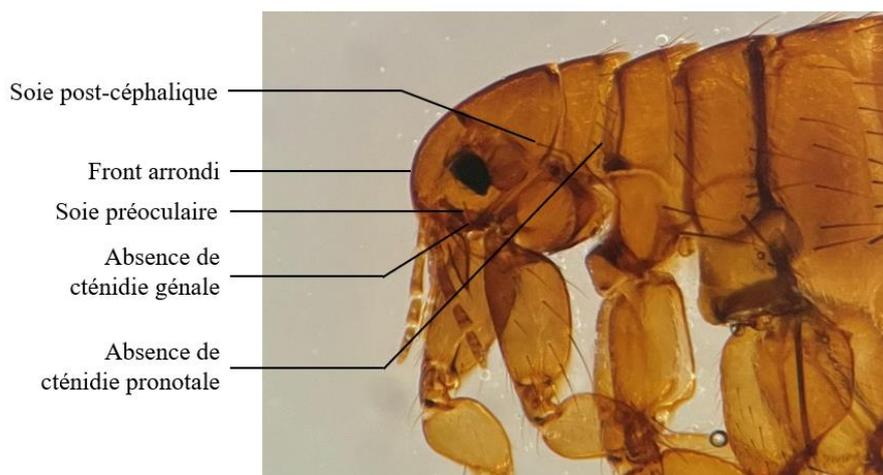


Figure 42 : Critères morphologiques céphaliques chez une femelle *P. irritans* observée à la loupe binoculaire
(Photographie originale)

Le sexe a ensuite été déterminé par la taille de l'insecte d'une part (mâle généralement plus petit que la femelle) et l'aspect morphologique externe de l'abdomen caudal d'autre part (courbé vers le haut chez le mâle, bombé et vers le bas chez la femelle) (Figures 43-A et 43-B).



Figure 43 – A : Mâle *P. irritans* observé à la loupe binoculaire (Photographie originale)



Figure 43 – B : Femelle *P. irritans* observée à la loupe binoculaire (Photographie originale)

Le Tableau 20 ci-dessous indique les lieux de prélèvements ainsi que le sexe de chacune des puces.

Elevage	Lieux de prélèvement										
	Bergerie		Petits ruminants		Eleveurs		Chiens		TOTAL		
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F+M
E1	4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
E2	7	4	5	1	-	-	-	-	12	5	17
E3	12	6	-	-	-	-	-	-	12	6	18
E4	3	1	-	-	-	-	5	1	8	2	10
E5	-	-	-	-	9	3	-	-	9	3	12
E6	-	-	-	-	43	26	-	-	43	26	69
E7	9	11	-	-	-	-	-	-	9	11	20
E8	6	2	-	-	-	-	-	-	6	2	8
E9	-	-	-	-	10	4	-	-	10	4	14
TOTAL	41	24	5	1	62	33	5	1	113	59	172
	65 (F+M)		6 (F+M)		95 (F+M)		6 (F+M)				
Nombre total de puces : 172											

Tableau 20 : Nombre de puces collectées dans chaque élevage en fonction de leurs lieux de prélèvement.

F : puce femelle. M : puce mâle.

Au total, 113 puces femelles ont été collectées et 59 puces mâles, ce qui représente respectivement 66 % et 34 % de la population prélevée. La répartition des puces en fonction de leurs lieux de prélèvement et de leur sexe est détaillée dans le Tableau 21 ci-dessous.

Lieux de prélèvement	Bergerie (n=65)	Petits ruminants (n=6)	Eleveurs (n=95)	Animaux domestiques (n=6)
% des puces récoltées (n=172)	37,8 %	3,5 %	55,2 %	3,5 %
% puces femelles et mâles	F : 63 % M : 37 %	F : 83 % M : 17 %	F : 65 % M : 35 %	F : 83 % M : 17 %

Tableau 21 : Répartition des puces en fonction des lieux de prélèvement et de leur sexe

F : puces femelles. M : puces mâles

B. Recherche des agents pathogènes

Un total de 78 puces a été sélectionné pour l'extraction d'ADN. Le détail de cette sélection est résumé dans le Tableau 22.

Elevage	Lieux de prélèvement										
	Bergerie		Petits ruminants		Eleveurs		Animaux domestiques		TOTAL		
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F+M
E1	4	-	-	-	-	-	-	-	4	-	4
E2	5	3	5	1	-	-	-	-	10	4	14
E3	5	5	-	-	-	-	-	-	5	5	10
E4	3	1	-	-	-	-	5	1	8	2	10
E5	-	-	-	-	5	3	-	-	5	3	8
E6	-	-	-	-	5	1	-	-	5	1	6
E7	5	5	-	-	-	-	-	-	5	5	10
E8	5	2	-	-	-	-	-	-	5	2	7
E9	-	-	-	-	5	4	-	-	5	4	9
Nombre total de puces pour l'extraction : 78											

Tableau 22 : Nombre de puces sélectionnées pour l'extraction d'ADN en fonction de leurs lieux de prélèvement et leur sexe. F : puce femelle. M : puce mâle.

Les 78 échantillons d'ADN extraits ont ensuite été analysés par PCR pour vérifier la qualité de l'extraction d'ADN, ainsi que pour détecter l'éventuelle présence d'ADN de *Bartonella* spp. Un des gels d'électrophorèse réalisés pour vérifier l'extraction d'ADN est présenté dans la Figure 44 et un de ceux réalisés pour rechercher l'ADN de *Bartonella* spp. est présenté dans la Figure 45.

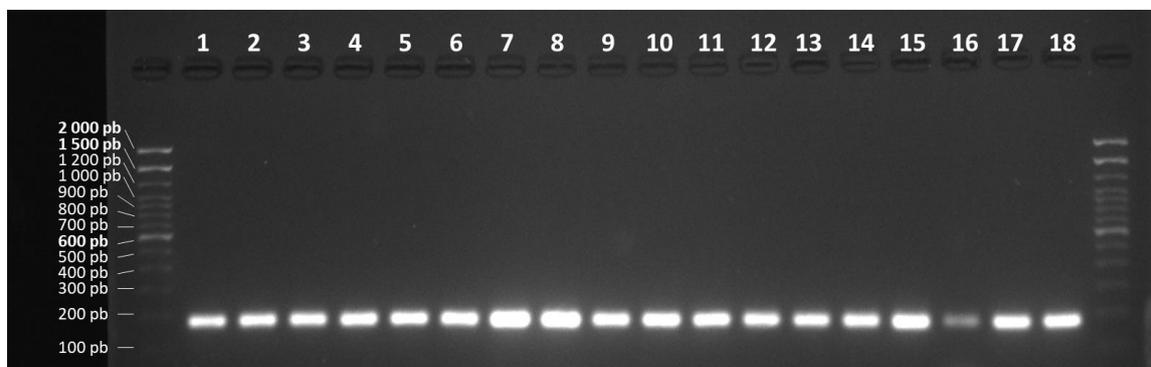


Figure 44 : Gel d'électrophorèse des amplicons d'ADN de *P. irritans* avec les amorces Cf18S

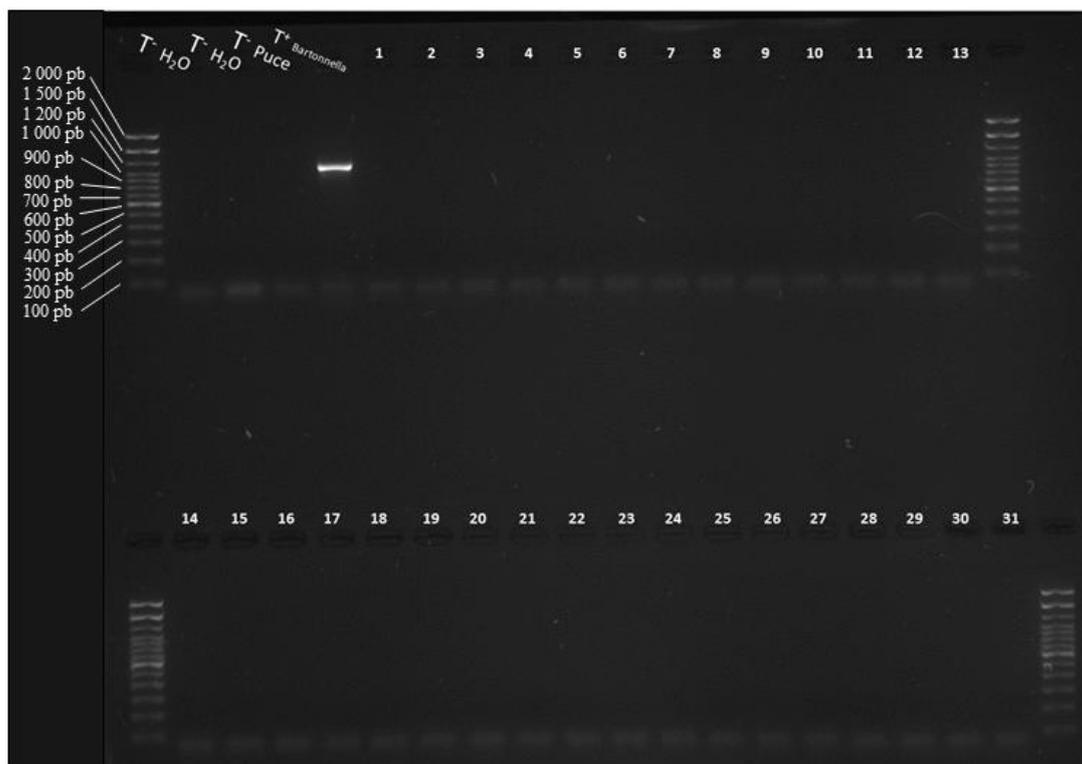


Figure 45 : Gel d'électrophorèse des amplicons pour *Bartonella* spp.

Les témoins positifs et négatifs ont fonctionné pour chaque PCR, et l'ADN des puces a été mis en évidence pour la totalité des échantillons. Par ailleurs, les 78 puces étaient négatives à l'ADN de *Bartonella* spp.

En résumé, la collecte de 172 échantillons de puces dans les élevages infestés a permis de mettre en évidence que :

- 100 % des échantillons collectés appartiennent à l'espèce *Pulex irritans*
- Malgré une extraction d'ADN réussie sur 100 % des 78 échantillons sélectionnés, aucun ne s'est révélé positif à la présence d'ADN de *Bartonella* spp.

IV. Discussions et perspectives

1. Le questionnaire : ses avantages et ses limites

Un questionnaire en ligne a été proposé aux éleveurs de petits ruminants des départements de l'Ariège, de l'Aveyron du Tarn et de la Lozère par leur GDS respectif. Seulement 63 réponses ont été obtenues, sachant qu'il existe au total 3113 élevages dans les quatre départements inclus dans l'étude, d'après les chiffres des quatre chambres d'agriculture respectives. Ainsi, les résultats obtenus, bien que très intéressants et inédits quant aux infestations par *Pulex irritans* dans les élevages de petits ruminants, ne peuvent en aucun cas être extrapolés à l'ensemble des élevages que comptent ces départements. Par ailleurs, aucune interprétation de ces résultats par des méthodes de statistiques analytiques n'a été réalisée en raison du faible nombre de réponses.

Bien que le format du questionnaire en ligne soit facile et confortable d'utilisation (possibilité de répondre sur ordinateur, smartphone ou tablette), qu'il ait été diffusé aux éleveurs par mail et par SMS, et qu'il a été pensé pour être à la fois le plus complet et le plus court et intelligible possible, ce faible nombre de retours peut être expliqué de plusieurs manières. D'une part, les exploitants ont très peu de temps libre, parfois même pas assez pour leur famille, en particulier en ce qui concerne les aspects considérés comme non essentiels de leur quotidien. Il peut alors sembler logique que la plupart des éleveurs ne prennent pas le temps de faire un retour « pour la science », à une problématique qui ne les concerne pas, ou en tous cas pas de façon préoccupante. Il paraît cohérent que les éleveurs pour lesquels l'infestation par les puces est particulièrement intense auront répondu au questionnaire. En revanche, ceux pour lesquels l'infestation n'est que légère et passe inaperçue auront pu se sentir également moins concernés par le propos. D'autre part, il semblerait que les enquêtes auprès des éleveurs se soient multipliées au cours des dernières années. Il paraît donc naturel que la collecte de données par ce moyen et la motivation des éleveurs pour y répondre puisse diminuer. En outre, de façon tout à fait compréhensible, les GDS respectifs n'ont pas souhaité réitérer la diffusion du questionnaire, malgré nos sollicitations.

Afin de pallier à cette faible proportion de réponses parmi toute la population concernée, il aurait pu être judicieux de multiplier les messages auprès des exploitants en proposant la diffusion du questionnaire notamment via les vétérinaires traitants, les journaux périodiques à destination des agriculteurs, les réseaux sociaux, etc. Ces voies de communication n'ont pas été explorées pour maintenir les relations cordiales et diplomatiques qu'il existe entre l'ENVT, les

GDS des départements voisins et la Confédération de Roquefort, et pour le bon respect des travaux déjà menés par le passé entre ces institutions.

Afin de rendre l'exploitation des données la plus facile et complète possible, le questionnaire a été réfléchi et formulé pour ne proposer en grande partie que des questions fermées. Toutefois, certains retours manquent parfois de précision et il a pu être difficile d'exploiter les résultats obtenus de façon juste. Pour ces raisons, les données brutes ont ainsi parfois été remaniées et/ou reformulées afin d'en faciliter leur exploitation.

2. Données épidémiologiques concernant les infestations par *Pulex irritans* dans les élevages de petits ruminants

A. Evolution du nombre de cas

Notre étude montre que les infestations à *P. irritans* sévissent dans 38 % des élevages étudiés, avec 23 élevages touchés actuellement ou par le passé. Ces données sont inédites et attestent de la méconnaissance de cette problématique, puisqu'aucune autre étude, d'après nos recherches, ne s'est intéressée à décrire ou caractériser ces infestations dans les élevages de petits ruminants en France. Cette absence de données sur le sujet peut être liée aux faibles répercussions cliniques des infestations sur les animaux de rente, la souffrance des éleveurs étant, elle, moins considérée. Ces résultats demeurent en revanche difficiles à extrapoler à l'ensemble des élevages puisque les répondants au questionnaire ne représentent que 2 % des cibles potentielles. Toutefois, il pourrait être intéressant d'avoir un suivi de l'évolution du nombre de cas d'ici quelques années. La question des obstacles rencontrés pour la collecte de données se pose (faible nombre de réponses, intermédiaire des GDS respectifs, disponibilité des éleveurs, ...) et il pourrait être pertinent de réfléchir à des moyens plus efficaces d'être plus exhaustifs et précis quant à cette problématique. Une option serait de proposer aux vétérinaires traitants d'aborder la question de ces infestations par les puces au cours des bilans sanitaires obligatoires annuels. Un temps réservé serait ainsi dédié, permettant aux éleveurs comme aux vétérinaires d'approfondir le sujet et d'apporter plus de précisions dans les réponses tout en permettant un état des lieux plus complet de ces infestations dans les différentes clientèles. L'engagement de ce genre de discussions pourrait ainsi permettre aux personnes touchées d'une part, de se sentir moins seules et désemparées face à cette problématique parfois particulièrement éprouvante sur le plan psychologique, et aux vétérinaires d'autre part, de proposer un appui moral et sanitaire

à leurs éleveurs de petits ruminants. En effet, les visites dans ce type d'exploitations semblent en forte diminution ces dernières années, et ce en raison de la multiplication des interlocuteurs (techniciens, contrôleurs, ...), du coût des soins vétérinaires en regard des bénéfices apportés par l'exploitation agricole, et du fait de l'augmentation de la technicité des éleveurs qui implique qu'ils ont moins besoin des vétérinaires en ce qui concerne la médecine individuelle.

B. Répartition géographique

Les résultats obtenus montrent qu'au total, 23 élevages de petits ruminants du Sud-Ouest de la France sont actuellement touchés ou l'ont été par les infestations par *P. irritans*. Parmi les quatre départements étudiés, la Lozère est celui qui est le plus affecté. En effet, parmi toutes les réponses obtenues, la Lozère en compte 41 %, et 60 % des élevages infestés. Pour les retours obtenus en particulier dans ce département, plus d'un élevage sur deux est touché par les infestations. Le questionnaire n'a été diffusé qu'aux départements du Tarn, Aveyron et Lozère parce qu'ils représentent les départements qui correspondent au berceau de la zone Roquefort, et à celui de l'Ariège car certains éleveurs ont fait appel à l'ENVT pour ces problématiques d'infestations. En revanche, ce questionnaire n'a pas été diffusé plus largement que dans ces quatre départements. Il serait pour autant intéressant d'élargir l'étude de la prévalence de ces infestations dans d'autres régions, d'autres bassins de production français, ou même dans d'autres pays d'Europe. A l'heure actuelle sur ce continent, seules la Grèce (Christodoulopoulos et al., 2006 ; Christodoulopoulos et Theodoropoulos, 2003) et l'Espagne (Gracia et al., 1999) ont recensé des infestations par *P. irritans* dans les élevages de brebis et de chèvres. Notre étude permet de donner un éclairage inédit à ce type de problématique sanitaire en France, mais il serait particulièrement intéressant voire nécessaire d'effectuer d'autres études de la même teneur ou poursuivant les mêmes objectifs, afin de recueillir plus d'informations sur le sujet.

C. Conditions climatiques et environnementales

Le peu de littérature concernant les infestations par *P. irritans* met en évidence qu'elles sembleraient liées aux conditions climatiques et environnementales, puisque celles-ci sont corrélées à la vitesse de déroulement du cycle du parasite et donc à l'intensité de l'infestation. Les résultats obtenus dans notre étude montrent que la nuisance liée à ces infestations est maximale aux périodes les plus chaudes de l'année, c'est-à-dire entre avril et septembre, et quasiment nulle pendant les mois d'automne et d'hiver.

Christodoulopoulos et al. (2006) et Christodoulopoulos et Theodoropoulos (2003) se sont également intéressés à l'impact qu'avaient les facteurs climatiques et environnementaux sur les

infestations par *P. irritans* dans les élevages de petits ruminants. Il a ainsi été montré que l'infestation est significativement plus marquée pendant l'été, avec là aussi une charge parasitaire plus élevée entre mai et août et une absence complète de parasites en janvier et février. De la même façon, Yakhchali et Bahramnejad (2015) ont également montré que la prévalence de *P. irritans* était significativement deux fois plus haute en été qu'au cours des autres saisons, dans des cas d'infestations décrits en Iran. Ainsi, les résultats obtenus dans notre étude, confrontés à ceux de la littérature permettraient de confirmer que la nuisance liée à ces infestations est maximale pendant l'été et réduite pendant l'hiver. De façon intéressante, Christodoulopoulos et al. (2006) ont également mis en évidence que les températures annuelles moyennes étaient significativement plus douces dans les villages infestés (15,59°C) que dans les villages qui ne l'étaient pas (17,14°C). Notre étude semble soulever le même point, avec une légère diminution de la nuisance au mois de juillet, indiquant peut-être qu'une trop forte température ou un temps trop sec pourrait engendrer une baisse de la pression parasitaire.

Afin de préciser les données épidémiologiques relatives à la présence de *P. irritans* dans les élevages de petits ruminants, il aurait été intéressant de travailler sur des données plus précises en matière de conditions climatiques et environnementales. Pour cela, il aurait pu être pertinent d'installer des mini-stations météorologiques dans les élevages infestés et indemnes, afin de recueillir et comparer à minima les températures, le taux de précipitations et le taux d'humidité, à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments d'élevage. Ces données permettraient ainsi de quantifier précisément l'impact de ces facteurs environnementaux sur l'intensité des infestations.

D. Facteurs de risques

En raison du type de données et du faible nombre de réponses recensées, il n'a pas été possible de mettre en évidence de réels facteurs de risque à l'infestation par les puces. En effet, comme précisé précédemment, il aurait fallu extrapoler nos données à l'ensemble de tous les élevages des départements étudiés, nous permettant ainsi d'effectuer des statistiques analytiques (analyses univariée et multivariée par exemple) afin de confirmer que ces différents éléments sont bien des facteurs de risque. Toutefois, les résultats avancés par notre étude ont tout de même mis en exergue plusieurs aspects pouvant constituer de potentielles tendances ou éléments à risque concernant l'infestation, notamment le type de production ou la zootechnie correspondant à la gestion de la litière et des animaux. Ces éléments sont détaillés dans les paragraphes ci-dessous.

a. Type de production

D'abord, nos résultats montrent que ce sont les élevages ovins qui sont principalement touchés par ces infestations. En effet, parmi tous les élevages infestés recensés dans notre étude, 61 % sont des ateliers de production ovine uniquement et 17 % sont des ateliers mixtes (ovins et caprins). Toutefois, les données des chambres d'agriculture des quatre départements étudiés permettent de souligner que les élevages ovins sont beaucoup plus représentés, à hauteur de 85 % (2673 sur 3113) du total des élevages de petits ruminants sur les départements concernés. Ainsi, il pourrait sembler logique d'avoir plus d'ateliers ovins dans le total des infestés, puisqu'ils représentent une plus grande part de la production totale.

b. La gestion de la litière

Notre étude a ensuite permis de mettre en évidence plusieurs facteurs de risques liés au mode d'élevage, et plus précisément à la gestion de la litière notamment. En effet, même si le fait de stocker la paille à proximité des animaux ne semblent pas avoir d'influence sur les infestations, acheter de la paille en provenance de l'extérieur de l'exploitation, en revanche, semble être un facteur de risque. Pour rappel, notre étude montre que 52 % des élevages infestés achètent régulièrement leur paille à l'extérieur, contre seulement 24 % des indemnes.

Par ailleurs, les résultats obtenus via notre enquête montrent que la proportion d'élevages qui effectuent moins d'un curage par an est environ deux fois plus importante dans les élevages infestés que dans les indemnes. En parallèle, parmi ceux qui curent plus de quatre fois par an, la proportion est plus faible chez les éleveurs infestés que chez les indemnes. En revanche, la biologie des puces et la littérature à ce sujet laisse à penser qu'il y a bien un lien entre l'infestation et la gestion du fumier dans les élevages. En effet, Obasaju et Otesile (1980) ou plus récemment Hadadzadeh (2000) relient l'accumulation du fumier dans les bâtiments à une augmentation de la chaleur et de l'humidité dans la litière qui favoriserait le déroulement du cycle des puces et leur prolifération. Christodoulopoulos et al. (2006) soulignent également que les éleveurs qui épandent régulièrement leur fumier seraient moins sujets aux infestations que ceux qui le laissent s'accumuler. De même, Kaal et al. (2006) ont confirmé que les stades immatures de *P. irritans* sont retrouvés jusqu'à 3 cm de profondeur dans la litière des élevages intensifs.

Afin de mieux caractériser l'impact de la gestion de la litière dans les élevages infestés, il aurait pu être pertinent d'effectuer des visites d'élevages. Elles auraient permis, d'une part, de recueillir des échantillons de paille afin d'évaluer et éventuellement quantifier la présence de

P. irritans dans les différents types de pailles utilisés dans les élevages. D'autre part, ces visites auraient permis la collecte, dans les élevages infestés, d'échantillons de litière à des profondeurs préalablement choisies afin de confirmer et d'évaluer la présence de *P. irritans* dans l'environnement. Des analyses sur la litière auraient pu être imaginées au moment du prélèvement, notamment des mesures de pH, température ou humidité par exemple, afin d'avoir une idée de l'impact de ces conditions sur la présence de *P. irritans*.

c. Catégories d'âges des animaux

Notre étude montre que les jeunes ne représentent pas la catégorie d'âge préférentiellement touchée et ce dans aucun des élevages infestés. Cependant, les impacts cliniques sur les petits ruminants étant peu décrits, et compte tenu du nombre limité de réponses au questionnaire, les résultats obtenus ne sont peut-être pas représentatifs de l'ensemble des cas d'infestations par les puces dans les élevages de petits ruminants. Toutefois, les données obtenues dans le questionnaire soulignent que pour 35 % des élevages infestés, l'infestation touche toutes les catégories d'âge des animaux, y compris les jeunes.

En revanche, la littérature sur le sujet souligne que l'infestation et ses conséquences semblent effectivement à l'inverse généralement plus marquée chez les jeunes. En effet, les taux d'infestation les plus importants ont été mis en évidence de façon significative chez les animaux âgés de moins d'un an. Les auteurs attribuent cette préférence à une laine et une peau plus fine chez les jeunes qui permettrait aux puces de piquer leurs hôtes plus facilement. (Kilonzo et Khama 1989 ; Yakhchali et Bahramnejad, 2015).

Afin de mieux caractériser l'impact des infestations sur les petits ruminants, il pourrait être pertinent de poursuivre l'étude en effectuant au cours de visites d'élevages une collecte d'échantillons de puces directement sur les animaux par peignage, et en évaluant les signes cliniques consécutifs à l'infestation. Les échantillons seraient distingués en séparant les parasites récoltés sur les adultes de ceux recueillis sur les jeunes, afin d'évaluer au mieux si les animaux sont bel et bien infestés, et si les jeunes le sont de manière plus marquée.

d. Gestion des animaux

Concernant la caractérisation de la nuisance liée aux puces, notre étude souligne d'une part que sur l'année, les périodes de nuisance maximale ressentie par les éleveurs correspondent aux mois d'avril à septembre (comme indiqué précédemment partie II. 3), et d'autre part que ces périodes sont concomitantes avec celles pour lesquelles les animaux pâturent à l'extérieur des bâtiments.

Ces données peuvent être expliquées par deux phénomènes qui interviennent en synergie. D'une part, la biologie des puces implique que le climat et les conditions de température et d'humidité qui règnent à la belle saison sont propices à un développement et une multiplication des parasites plus importante pendant cette période, qui peuvent alors être à l'origine d'une plus forte nuisance. D'autre part, le fait que les animaux soient dehors dans la majorité des élevages pendant le printemps et l'été concourt à une augmentation de la pression d'infestation sur les éleveurs, car ils sont les seuls hôtes disponibles et ressentent alors une nuisance liée aux puces plus marquée pendant cette période. Ces deux aspects s'inversent également à la saison froide, avec une diminution de la charge parasitaire du fait des conditions de température et d'humidité, mais également une plus faible pression d'infestation ressentie par les éleveurs en raison de la présence des animaux dans les bâtiments, représentant d'autres hôtes potentiels pour les puces.

Cette constatation suggère également que *P. irritans* soit présente, à l'état adulte, plus souvent dans la litière et non sur les petits ruminants entre les repas sanguins, puisque les nuisances causées aux éleveurs sont plus fortes lorsque les animaux ne sont pas présents dans les bâtiments. Cette nuisance plus marquée pourrait cependant être également due aux puces nouvellement émergées suite à l'éclosion des cocons lorsque les éleveurs entrent dans les bâtiments.

E. Transmission inter et intra-élevage et rôle de la faune sauvage

Les résultats obtenus dans notre étude n'ont pas permis de mettre en évidence l'origine des infestations. Il est toutefois important de noter d'une part, la relative proximité géographique entre les élevages infestés, pour le cas de la Lozère notamment (22 km entre les élevages en moyenne, mais certains séparés de seulement 4 à 5 km), et d'autre part le fait que les petits ruminants sembleraient pouvoir jouer un rôle dans une transmission inter-élevages. D'après notre enquête, l'infestation semblerait en effet provenir de l'introduction d'animaux déjà infestés dans plus d'un élevage sur quatre.

La généralisation de l'infestation aux bâtiments d'élevage et aux habitations de l'éleveur et de sa famille concerne 70 % des élevages infestés. Les animaux domestiques pourraient également avoir un impact dans la transmission des puces intra-élevage. En effet, notre étude atteste du fait qu'une plus grande proportion d'élevages infestés possède des animaux de compagnie par rapport aux élevages indemnes. Ils pourraient alors représenter un facteur d'amplification de la nuisance liée à l'infestation car ils sont susceptibles de porter les puces des bâtiments d'élevage aux habitations et inversement.

D'après Bitam et al. (2010) les infestations par *P. irritans* décrites chez les chiens, chats, rats et chèvres, peuvent être très importantes, et ce en particulier quand les éleveurs partagent leurs habitations avec leur bétail ou les hébergent à proximité de leur foyer. Dans notre étude, les données recueillies montrent que parmi tous les élevages dont le foyer est infesté, les proportions d'éleveurs habitant à proximité ou à distance de leurs exploitations sont sensiblement les mêmes. Cet aspect met ainsi en lumière un potentiel portage des puces par les éleveurs eux-mêmes, dans leurs vêtements, leurs matériels ou effectivement par leurs animaux domestiques. Certains auteurs considèrent même la transmission de puces par les Hommes comme un potentiel point de départ des infestations dans les élevages de petits ruminants (Christodouloupoulos et Theodoropoulos, 2003 ; Bouhsira et al., 2015).

Par ailleurs, il est intéressant de noter que les puces sont uniquement retrouvées dans les bergeries et chèvreries, et ce malgré la présence éventuelle d'autres ateliers de production sur l'exploitation (bovins, équidés, volailles, ...). Toutefois, l'éleveur comme les animaux de compagnie pourraient contribuer à la dissémination des puces vers ces autres animaux de rente. Le fait qu'elles n'y soient pas retrouvées soulève donc la question de conditions défavorables à l'installation pérenne de *P. irritans* auprès de ces animaux, que ce soit dans les bâtiments ou dans la litière.

Enfin, même si *P. irritans* est considérée comme la puce de l'Homme, elle est très fréquemment retrouvée sur les animaux sauvages. Elle est en effet un parasite habituel du renard, du putois, et même de certaines espèces d'oiseaux (Duvallet et al., 2017 ; Harris et al., 2014 ; McGee et al., 2006 ; Aydin, 2011 ; Sréter et al., 2003 ; Belthoff et al., 2015). Ainsi, le rôle de ces hôtes ne peut pas être négligé dans la transmission de *P. irritans* puisque dans la quasi-totalité des élevages étudiés, les petits ruminants pâturent une grande partie de l'année et peuvent donc avoir des contacts réguliers avec ces mammifères sauvages.

En vue d'approfondir notre étude et de mieux caractériser ces aspects de transmission intra et inter-élevages, il aurait pu être intéressant de prélever les chats présents dans les élevages ainsi qu'un plus grand nombre de chiens, ou les petits ruminants en provenance des pâturages.

3. L'espèce *Pulex irritans*

Les informations recueillies dans le questionnaire nous ont permis d'entrer en contact avec les éleveurs touchés au moment de l'étude et ainsi d'obtenir des échantillons de puces récoltés dans 9 élevages sur les 13 infestés. Les 4 élevages restants n'ont pas pu nous faire parvenir d'échantillons, soit en raison d'une diminution de l'intensité de l'infestation ou bien par manque de temps.

Il avait été demandé aux éleveurs de collecter des puces dans différents sites de prélèvement : sur les petits ruminants, dans la litière, sur les éleveurs eux-mêmes ou sur leurs proches ainsi que sur leurs vêtements, et également sur leurs animaux de compagnie. Pour des raisons de logistique, il n'a pas été possible pour chaque élevage d'obtenir des puces sur chacun des lieux de prélèvement. Ainsi, sur les 172 puces collectées au total, 55,2 % proviennent des éleveurs eux-mêmes ou de leurs proches, 37,8 % de la litière, 3,5 % des petits ruminants et 3,5 % des animaux de compagnie. Là encore, l'organisation de visites d'élevages aurait permis de prélever directement par nos propres moyens des échantillons plus complets de puces chez les éleveurs aux différentes localisations d'intérêt.

Pour les 9 élevages concernés, nous avons en revanche pu confirmer que 100 % des puces prélevées appartenaient à l'espèce *P. irritans*. Ceci est cohérent avec la nuisance exprimée par les éleveurs dès lors qu'ils pénètrent dans la bergerie ou la chèvrerie.

Une grande partie des puces prélevées proviennent de la litière se trouvant dans les bâtiments où sont logés les petits ruminants. Ainsi ces échantillons pourraient correspondre à des puces à jeun et n'ayant jamais réalisé de repas sanguin, qui viennent d'émerger de leur cocon suite au passage de l'éleveur. Cela pourrait expliquer l'obtention de résultats négatifs lors des analyses PCR. Pour un des élevages, 6 des 10 des puces récoltées avaient été prélevées sur un chien et se sont révélées appartenir également à l'espèce *P. irritans*. Ce portage par le chien vient appuyer l'hypothèse du rôle d'amplification de l'infestation joué par l'espèce canine au sein de l'élevage et du foyer concerné, et confirme également le spectre d'hôte de *P. irritans*. En l'absence de prélèvements effectués sur l'espèce féline dans notre étude malgré la présence de chats dans certains élevages, nous n'avons pu étudier le portage par le chat de l'espèce *P. irritans*, qui est moins fréquent que chez le chien d'après la littérature (Bond et al., 2007 ; Lafon et Serceau, 2019).

Comme démontré dans cette étude, la présence de *P. irritans* dans les élevages se révèle être une réelle problématique pour les éleveurs touchés, et ce malgré la mise en place de méthodes

de lutte. La question de l'existence de résistances chez *P. irritans* aux antiparasitaires externes ainsi qu'aux insecticides appliqués dans les bâtiments peut ainsi être posée. En effet, l'absence d'AMM visant la puce de l'Homme chez les petits ruminants met en évidence un manque de connaissances à ce sujet et une absence de protocoles précis pour lutter contre cette espèce en élevage.

4. Les conséquences des infestations

A. Impacts chez l'Homme et les animaux

Les réponses au questionnaire nous ont permis de collecter un grand nombre d'informations concernant les impacts de l'infestation sur les animaux mais aussi sur les éleveurs et leurs proches. Ces conséquences sont aussi bien cliniques que psychologiques.

a. Conséquences cliniques

i. Chez les animaux

Même si quelques élevages rapportent une modification du comportement des animaux ou des troubles cutanés, dans plus d'un élevage infesté sur deux, aucune répercussion clinique n'est observée sur les petits ruminants. Les conséquences cliniques sur les animaux ne semblent donc pas être le problème principal de ces infestations. Cependant, il est à noter que la spoliation sanguine provoquée par les parasites peut être à l'origine d'une anémie chronique chez les animaux et notamment chez les chèvres (Christodoulopoulos et Theodoropoulos, 2003). Il aurait pu être intéressant, dans le cadre de cette étude, d'effectuer des prises de sang sur les animaux des élevages infestés afin d'évaluer l'impact de ces infestations sur les paramètres sanguins.

ii. Chez l'Homme

Contrairement aux signes cliniques observés sur les animaux, ceux observés chez l'Homme sont rapportés de manière beaucoup plus fréquente. En effet seulement 13 % des éleveurs concernés par le problème déclarent n'observer aucune répercussion sur les êtres humains. 70 % des éleveurs sont importunés par un prurit important et 48 % par de l'érythème. Des plaies et excoriations ainsi que des phénomènes d'allergie peuvent également être observés.

Les signes cliniques observés chez les éleveurs et leurs proches correspondent effectivement à ceux observés dans d'autres cas d'infestations humaines à *P. irritans* décrits dans la littérature

(Bouhsira et al., 2015 ; O'Donnell et Elston, 2020 ; Yagoob, 2011 ; Rahbari et al., 2008). La présence de personnes dites « sensibles » pour qui l'infestation est beaucoup plus contraignante, comme décrit dans une étude réalisée en Iran (Yagoob, 2011), a également été observée au cours de cette étude. Ces nuisances systématiquement rapportées témoignent d'une véritable problématique de santé publique.

L'observation de ces conséquences marquées sur les éleveurs et leurs proches, en opposition aux faibles signes cliniques observés sur les petits ruminants, contraste avec les infestations par les puces autres que par l'espèce *P. irritans*, pour lesquelles les éleveurs semblent moins souffrir de l'infestation que les animaux. En effet, *C. felis strongylus* serait responsable dans les troupeaux infestés d'une hyporexie, d'amaigrissement, d'une faiblesse des animaux et d'une pâleur des muqueuses, en plus du prurit observé dans notre étude (Fagbemi, 1982 ; Kaal et al., 2006). Une spoliation sanguine conduisant à une anémie a également été observée à plusieurs reprises lors d'infestations à *C. felis felis* (Kusiluka et al., 1995; Yeruham et al., 1997), à *C. felis strongylus* (Fagbemi, 1982 ; Kaal et al., 2006) et à *C. canis* (Obasaju et Otesile, 1980).

b. Impact psychologique

En plus du prurit et des signes cutanés observés, l'infestation des élevages par *P. irritans* implique un fort impact psychologique sur les éleveurs et leurs familles. Les scores moyens de nuisance ressentie et de volonté à éradiquer les puces sont respectivement de 8,2 et 9,1 sur 10 et reflètent clairement les désagréments causés par cette pulicose. Suite aux nombreuses discussions téléphoniques que nous avons pu avoir avec les éleveurs concernés, nous avons pu remarquer la présence permanente d'un stress important et d'un inconfort au cours de leurs journées de travail, et ce de manière plus intense encore lors de la traite et de la distribution des aliments notamment. La dimension sociale ne doit pas non plus être négligée, l'infestation pouvant jouer un rôle important dans les relations sociales des éleveurs et de leurs proches. Ces désagréments ont également été constatés dans une autre étude, pour laquelle les êtres humains étaient particulièrement affectés par les puces là aussi lors de contacts avec les animaux ou de travaux dans les bâtiments d'élevage (Christodoulou et Theodoropoulos, 2003).

Certains témoignages présentés ci-dessous ont pu être recueillis lors de nos discussions avec les éleveurs, et témoignent bien de l'impact social, du mal-être et du stress que ces infestations provoquent dans les familles touchées :

- « Le troupeau ne souffre pas de la situation, elle est plus impactante pour le relationnel humain ».
- « Merci pour l'intérêt porté à cette problématique, qui reste encore peu considérée ».
- « Nous avons longuement lutté contre ce problème qui nous a compliqué la vie pendant des années ».
- « Problème honteux pour les enfants à l'école ».

B. Transmission d'agents pathogènes zoonotiques

D'après nos recherches bibliographiques, il semblerait que *P. irritans* puisse potentiellement être impliquée dans la transmission d'agents pathogènes zoonotiques. Les Bartonelles peuvent être transmises à l'Homme par les puces, ce qui représente une source de préoccupation pour les vétérinaires et pour les propriétaires d'animaux infestés. *Pulex irritans* est ainsi un vecteur supposé de plusieurs espèces de Bartonelles (*B. clarridgeiae*, *B. quintana*, *B. rochalimae*, *B. vinsonii* subsp. *berkhoffii*) dont l'Homme est un hôte accidentel voire un réservoir primaire (Chomel et Kasten, 2010 ; Tsai et al., 2011 ; Lafon et Serceau, 2019). L'espèce *B. melophagi*, est retrouvée chez les petits ruminants et a été décrite comme responsable de graves troubles cliniques chez l'Homme (Maggi et al., 2009), bien qu'elle semble asymptomatique chez les animaux. Dans cette étude, nous avons donc recherché l'éventuelle présence d'ADN de *Bartonella* spp. dans les échantillons collectés.

Dans cette étude, 100 % des échantillons se sont révélés négatifs à l'ADN de *Bartonella* spp. La majorité des puces proviennent cependant de la litière, il s'agit donc très probablement de puces venant d'émerger de leurs cocons suite au passage de l'éleveur dans la bergerie ou la chèvrerie. Ainsi les parasites étaient certainement à jeun au moment de la collecte et n'avaient jamais réalisé de repas de sang. Les résultats négatifs en PCR sur ces échantillons sont concordants avec cette hypothèse, les puces ne permettant pas une transmission trans-ovarienne des bactéries (Morick et al., 2011).

Afin d'étudier la concordance entre la présence ou l'absence d'ADN de Bartonelles dans les puces et le statut bactériémique des hôtes, animaux et humains, sur lesquels ont été prélevés les parasites, il serait nécessaire d'effectuer des prises de sang sur les hôtes au moment de la collecte de puces. Nous aurions également pu dans cette étude nous intéresser plus particulièrement aux chats présents dans les élevages infestés. En effet, les chats constituant un des réservoirs principaux des Bartonelles, une étude de leur bactériémie nous aurait permis d'avoir un aperçu de la présence de ces agents pathogènes dans les élevages infestés.

Cependant, les Bartonelles induisent chez leurs hôtes des bactériémies transitoires qui peuvent compliquer leur détection, et induire une sous-estimation de la prévalence selon le moment du prélèvement. D'après une étude menée à Taïwan, il n'y aurait pas forcément de concordance entre la prévalence de Bartonelles chez les puces, détectée par PCR, et la prévalence de ces bactéries chez le chat (Tsai et al., 2011).

Pour finir, les Bartonelles ne sont pas les seuls agents pathogènes d'importance médicale chez l'Homme et potentiellement transmis par *P. irritans*. En effet, d'après Eisen et Gage (2012), *P. irritans* pourrait par exemple transmettre certaines Rickettsies à l'Homme. De futures études pourraient ainsi être menées visant à rechercher la présence d'autres agents pathogènes dans les élevages infestés par *P. irritans*.

C. Utilisation d'antiparasitaires et leurs conséquences

Les élevages infestés ont davantage recours à des antiparasitaires externes, que ce soit pour leurs animaux de compagnie ou pour les petits ruminants. En effet, les éleveurs infestés qui traitent systématiquement leurs petits ruminants sont en proportion au moins deux fois plus nombreux que les éleveurs indemnes.

De la même manière, les éleveurs infestés sont en proportion plus nombreux que les éleveurs indemnes à avoir déjà utilisé des traitements insecticides dans leurs bâtiments d'élevage (respectivement 65 % et 43 %). Nous avons pu remarquer que les pyréthriinoïdes n'étaient employés que par les éleveurs infestés, dans près d'un élevage sur trois.

Nos résultats semblent montrer que seul un nombre important de mesures de lutte (plus de trois) mises en œuvre simultanément permet l'éradication de l'infestation. Par ailleurs, la désinsectisation des bâtiments est la mesure la plus souvent mise en place par les éleveurs en réponse à l'infestation, que ce soit par les éleveurs infestés actuellement ou par le passé. Ainsi, cette mesure ne semble pas efficace dans tous les élevages, mais cette fois encore le manque de précisions concernant certains traitements soulève la question de la façon dont ceux-ci sont effectivement réalisés. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce manque d'efficacité chez les éleveurs encore touchés. En effet la molécule peut ne pas être assez adaptée pour lutter efficacement contre les puces. Mais le traitement peut ne pas être efficace s'il n'est pas précédé d'un curage du fumier, d'un nettoyage ou même d'un vide sanitaire. Dans le cadre d'infestations à *P. irritans* dans des élevages de brebis (Bouhsira et al., 2015), il a été requis d'associer différentes mesures de lutte pour éradiquer les infestations, à savoir : (i) un vide sanitaire complet associé à (ii) une élimination de la litière, (iii) un nettoyage des bâtiments avec de l'eau

bouillante sous haute pression et (iv) une désinsectisation du sol et de la nouvelle litière à l'aide d'inhibiteurs de croissance, associés à (v) un traitement individuel des animaux. Ce protocole doit souvent être répété plusieurs fois, notamment les étapes d'élimination de la litière et de la désinsectisation de la nouvelle litière avec des inhibiteurs de croissance. Mais le respect de l'ensemble du protocole représente une charge de travail considérable et un coût pour l'éleveur, et nécessite une logistique qui peut s'avérer délicate à mettre en place. La difficulté de réalisation de ces mesures de lutte pourrait expliquer en partie la persistance de ces infestations.

La tendance des éleveurs infestés à utiliser de manière plus fréquente des antiparasitaires externes ainsi que des insecticides dans les bâtiments résulte du fait qu'ils cherchent à diminuer la pression d'infestation par *P. irritans*. Les pyréthrinoïdes représentent la classe chimique la plus utilisée par les éleveurs infestés. Cette utilisation massive pourrait conduire à l'apparition de résistances à ces molécules, avec un risque plus élevé si les fréquences et doses d'utilisation ne sont pas correctement respectées. Les canaux sodiques étant la cible des pyréthrinoïdes, certaines mutations leur confèrent une sensibilité moindre à ces insecticides. Ce mécanisme de résistance est connu sous le nom de knockdown resistance (*kdr*). La recherche de ces mutations par PCR dans les populations de *P. irritans* des élevages infestés pourrait permettre de détecter d'éventuelles résistances aux pyréthrinoïdes (Ghavami et al., 2018). Ces données pourraient ainsi fournir davantage de réponses quant aux difficultés rencontrées pour endiguer ces infestations.

CONCLUSION

Cette étude recense, pour la première fois en France, des élevages de petits ruminants infestés par les puces de l'espèce *P. irritans* dans des départements du Sud-Ouest de la France (Ariège, Aveyron, Lozère et Tarn).

Un questionnaire a été réalisé et distribué à au moins 1050 éleveurs afin de mieux comprendre les pratiques d'élevage, notamment en lien avec les infestations. Ce questionnaire a permis de recueillir le témoignage de 63 éleveurs, dont 23 étaient concernés par cette problématique. Parmi ces 23 élevages infestés, 10 l'avaient été par le passé et ont réussi à éradiquer l'infestation. Les 13 autres l'étaient encore actuellement, avec des infestations datant de plus de 5 ans dans près d'un élevage sur deux.

Une collecte d'échantillons a été effectuée dans 9 des 13 élevages touchés et a permis le sexage et l'identification de 172 puces, révélant que 100 % des échantillons appartenaient bien à l'espèce *P. irritans*, quel que soit le site ou l'hôte prélevé (ovin, caprin, chien, Homme, bergerie ou chèvrerie).

Cette étude a ainsi permis d'établir une cartographie de ces infestations dans le Sud-Ouest de la France. Les élevages ovins représentent 61 % des élevages infestés. Même pour les éleveurs possédant d'autres ateliers de production (bovins, porcins, volailles, équidés) l'infestation est uniquement cantonnée aux petits ruminants. Il a été remarqué que pour la majorité des troupeaux touchés, aucune répercussion clinique n'est observée sur les petits ruminants. En revanche 87 % des éleveurs concernés déclarent que ces infestations peuvent être source de stress, de mal-être voire d'exclusion sociale, ou à l'origine de désagréments physiques liés aux piqûres de puces.

L'origine des infestations n'est pas clairement identifiée mais semblerait reposer sur une transmission entre élevages, par l'Homme ou via l'introduction de paille ou d'animaux infestés. De la même façon, les facteurs de risque liés à cette problématique n'ont pas pu être clairement mis en évidence en raison du faible nombre d'élevages inclus dans l'étude. Différentes mesures de lutte sont mises en place par les éleveurs sans forcément obtenir de résultats probants, excepté pour ceux ayant effectué une lutte intégrée en associant 3 à 5 mesures de lutttes simultanément (nettoyage, désinsectisation, vide sanitaire, traitement antiparasitaire et traitement du foyer).

A partir des puces collectées, il a été mis en évidence que sur les 78 échantillons ayant subi une extraction d'ADN, tous étaient négatifs à la recherche d'ADN de *Bartonella* spp.

Cette étude met en lumière l'importance de cette problématique de santé publique encore négligée à ce jour. Elle souligne également la difficulté de gestion de ces infestations qui affectent parfois gravement les éleveurs et leur famille depuis longtemps, ou les ont affectés pendant de nombreuses années, tant sur le plan physique que psychologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADAM, A, 2012. *Dipylidium caninum* Infection in a 41 -Year- Old Sudanese Man in Nyala, Sudan: The First Reported Case in Sudan in 2006. 2012.

ALCAÍNO, Héctor A., GORMAN, Texia R. et ALCAÍNO, Ricardo, 2002. Flea species from dogs in three cities of Chile. *Veterinary Parasitology*. mai 2002. Vol. 105, n° 3, pp. 261-265. DOI 10.1016/S0304-4017(01)00626-4.

AYDIN, Mehmet Fatih, 2011. Tick (Ixodoidea) and Flea (Siphonaptera) Species on Three Red Foxes (*Vulpes vulpes*) in Erzurum Province - *ProQuest. Türkiye Parazitoloji Dergisi*. juin 2011. Vol. 35, n° 2, pp. 110-113.

BACOT, A. W. et MARTIN, C. J., 1914. LXVII. Observations on the mechanism of the transmission of plague by fleas. *The Journal of Hygiene*. janvier 1914. Vol. 13, n° Suppl, pp. 423-439.

BAI, Ying, MALANIA, Lile, CASTILLO, Danilo Alvarez, MORAN, David, BOONMAR, Sumalee, CHANLUN, Aran, SUKSAWAT, Fanan, MARUYAMA, Soichi, KNOBEL, Darryn et KOSOY, Michael, 2013. Global Distribution of Bartonella Infections in Domestic Bovine and Characterization of Bartonella bovis Strains Using Multi-Locus Sequence Typing. *PLOS ONE*. 21 novembre 2013. Vol. 8, n° 11, pp. e80894. DOI 10.1371/journal.pone.0080894.

BAKER, K. P. et HATCH, C., 1972. The species of fleas found on Dublin dogs. *The Veterinary Record*. 5 août 1972. Vol. 91, n° 6, pp. 151-152. DOI 10.1136/vr.91.6.151.

BATES, Peter, 2004. Therapies for ectoparasiticism in sheep. *In Practice*. 2004. Vol. 26, n° 10, pp. 538-547. DOI 10.1136/inpract.26.10.538.

BEAUCOURNU, J.-C., 1973. Notes sur les Siphonaptères parasites de Carnivores en France. *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée*. 1973. Vol. 48, n° 3, pp. 497-516. DOI 10.1051/parasite/1973483497.

BEAUCOURNU, Jean-Claude, LAUNAY, Henri et LELIÈVRE, Gervais, 1990. Les puces (siphonaptera) de France et du Bassin méditerranéen occidental: France et régions limitrophes. Paris : Fédération française des sociétés de sciences naturelles. Faune de France, 76. ISBN 978-2-903052-10-2. 591.944

BECK, W., BOCH, K., MACKENSEN, H., WIEGAND, B. et PFISTER, K., 2006. Qualitative and quantitative observations on the flea population dynamics of dogs and cats in several areas of Germany. *Veterinary Parasitology*. 15 avril 2006. Vol. 137, n° 1, pp. 130-136. DOI 10.1016/j.vetpar.2005.12.021.

BELTHOFF, James, BERNHARDT, Scott, BALL, Christopher, GREGG, Michael, JOHNSON, David H., KETTERLING, Rachel, PRICE, Emily et TINKER, Juliette, 2015. Burrowing Owls, *Pulex irritans*, and Plague. Vector borne and zoonotic diseases (Larchmont, N.Y.). 14 septembre 2015. Vol. 15. DOI 10.1089/vbz.2015.1772.

BEMIS, David A. et KANIA, Stephen A., 2007. Isolation of Bartonella sp. from Sheep Blood - Volume 13, Number 10—October 2007 - *Emerging Infectious Diseases journal* - CDC. [en ligne]. 2007. [Consulté le 11 mai 2022]. DOI 10.3201/eid1310.070570. Disponible à l'adresse : https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/13/10/07-0570_article

BERMOND, Delphine, BOULOUIS, Henri-Jean, HELLER, Rémy, VAN LAERE, Guy, MONTEIL, Henri, CHOMEL, Bruno B, SANDER, Anna, DEHIO, Christoph et PIÉMONT, YvesYR 2002, 2002. Bartonella bovis Bermond et al. sp. nov. and Bartonella capreoli sp. nov., isolated from European ruminants.

- International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology. 2002. Vol. 52, n° 2, pp. 383-390. DOI 10.1099/00207713-52-2-383.
- BEUGNET, Frederic et HALOS, Lénaïg, 2015. Cat ectoparasites. Pratique Medicale et Chirurgicale de l'Animal de Compagnie. 2015. Vol. 34, pp. 427-435.
- BEUGNET, Frédéric, LABUSCHAGNE, Michel, FOURIE, Josephus, JACQUES, Guillot, FARKAS, Robert, COZMA, Vasile, HALOS, Lénaïg, HELLMANN, Klaus, KNAUS, Martin et REHBEIN, Steffen, 2014. Occurrence of *Dipylidium caninum* in fleas from client-owned cats and dogs in Europe using a new PCR detection assay. Veterinary Parasitology. septembre 2014. Vol. 205, n° 1-2, pp. 300-306. DOI 10.1016/j.vetpar.2014.06.008.
- BIRTLES, Richard J et RAOULT, Didier, 1996. Comparison of Partial Citrate Synthase Gene (*g U*) Sequences for Phylogenetic Analysis of *Bartonella* Species. . 1996. pp. 7.
- BITAM, Idir, DITTMAR, Katharina, PAROLA, Philippe, WHITING, Michael F. et RAOULT, Didier, 2010. Fleas and flea-borne diseases. International Journal of Infectious Diseases. août 2010. Vol. 14, n° 8, pp. e667-e676. DOI 10.1016/j.ijid.2009.11.011.
- BLAGBURN, Byron L. et DRYDEN, Michael W., 2009. Biology, Treatment, and Control of Flea and Tick Infestations. Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. novembre 2009. Vol. 39, n° 6, pp. 1173-1200. DOI 10.1016/j.cvsm.2009.07.001.
- BOND, R., RIDDLE, A., MOTTRAM, L., BEUGNET, F. et STEVENSON, R., 2007. Survey of flea infestation in dogs and cats in the United Kingdom during 2005. Veterinary Record. 2007. Vol. 160, n° 15, pp. 503-506. DOI 10.1136/vr.160.15.503.
- BOUCHEIKHCHOUKH, Mehdi, MECHOUK, Nouredine, BENAKHLA, Ahmed, RAOULT, Didier et PAROLA, Philippe, 2019. Molecular evidence of bacteria in *Melophagus ovinus* sheep keds and *Hippobosca equina* forest flies collected from sheep and horses in northeastern Algeria. Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases. 1 août 2019. Vol. 65, pp. 103-109. DOI 10.1016/j.cimid.2019.05.010.
- BOUDEBOUCH, N, SARIH, M, BEAUOURNU, J-C, AMAROUCHE, H, HASSAR, M, RAOULT, D et PAROLA, P, 2011. *Bartonella clarridgeiae*, *B. henselae* and *Rickettsia felis* in fleas from Morocco. Annals of Tropical Medicine & Parasitology. 1 octobre 2011. Vol. 105, n° 7, pp. 493-498. DOI 10.1179/1364859411Y.0000000038.
- BOUHSIRA, Emilie, LIÉNARD, Emmanuel, JACQUIET, Philippe et FRANC, Michel, 2015. Pucés en élevage ovin : un cas d'infestation par *Pulex irritans* ou « puce de l'homme ». Le nouveau praticien vétérinaire - Elevages et santé. 2015. Vol. 8, n° 32, pp. 179-186.
- BREITSCHWERDT, Edward B., 2017. Bartonellosis, One Health and all creatures great and small. Veterinary Dermatology. février 2017. Vol. 28, n° 1, pp. 96-e21. DOI 10.1111/vde.12413.
- BREITSCHWERDT, Edward B., ATKINS, Clarke E., BROWN, Talmage T., KORDICK, Dorsey L. et SNYDER, Patti S., 1999. *Bartonella vinsonii* subsp. *berkhoffii* and Related Members of the Alpha Subdivision of the Proteobacteria in Dogs with Cardiac Arrhythmias, Endocarditis, or Myocarditis. Journal of Clinical Microbiology. novembre 1999. Vol. 37, n° 11, pp. 3618-3626.
- BREITSCHWERDT, Edward B., MAGGI, Ricardo G., LANTOS, Paul M., WOODS, Christopher W., HEGARTY, Barbara C. et BRADLEY, Julie M., 2010. *Bartonella vinsonii* subsp. *berkhoffii* and *Bartonella henselae* bacteremia in a father and daughter with neurological disease. Parasites & Vectors. 8 avril 2010. Vol. 3, n° 1, pp. 29. DOI 10.1186/1756-3305-3-29.

- BRIANTI, Emanuele, GAGLIO, Gabriella, NAPOLI, Ettore, GIANNETTO, Salvatore, DANTAS-TORRES, Filipe, BAIN, Odile et OTRANTO, Domenico, 2012. New insights into the ecology and biology of *Acanthocheilonema reconditum* (Grassi, 1889) causing canine subcutaneous filariasis. *Parasitology*. avril 2012. Vol. 139, n° 4, pp. 530-536. DOI 10.1017/S0031182011002198.
- BUCKLAND, Paul C. et SADLER, Jon P., 1989. A Biogeography of the Human Flea, *Pulex irritans* L. (Siphonaptera: Pulicidae). *Journal of Biogeography*. 1989. Vol. 16, n° 2, pp. 115-120. DOI 10.2307/2845085.
- CADIERGUES, M. C., DELOFFRE, P. et FRANC, M., 2000. Species of fleas found on cats in France. *Revue de Medecine Veterinaire (France) [en ligne]*. 2000.
- CADIERGUES, Marie-Christine, HOURCQ, Pascal, CANTALOUBE, Brice et FRANC, Michel, 2000. First Bloodmeal of *Ctenocephalides felis felis* (Siphonaptera: Pulicidae) on Cats: Time to Initiation and Duration of Feeding. *Journal of Medical Entomology*. 1 juillet 2000. Vol. 37, n° 4, pp. 634-636. DOI 10.1603/0022-2585-37.4.634.
- CALVANI, Nichola E.D., BELL, Liam, CARNEY, Abigail, DE LA FUENTE, Carolina, STRAGLIOTTO, Tori, TUNSTALL, Mikala et ŠLAPETA, Jan, 2020. The molecular identity of fleas (Siphonaptera) carrying *Rickettsia felis*, *Bartonella clarridgeiae* and *Bartonella rochalimae* from dogs and cats in Northern Laos. *Heliyon*. juillet 2020. Vol. 6, n° 7, pp. e04385. DOI 10.1016/j.heliyon.2020.e04385.
- CANTÓ, Germinal J., GUERRERO, Roberto I., OLVERA-RAMÍREZ, Andrea M., MILIÁN, Feliciano, MOSQUEDA, Juan et AGUILAR-TIPACAMÚ, Gabriela, 2013. Prevalence of Fleas and Gastrointestinal Parasites in Free-Roaming Cats in Central Mexico. *PLOS ONE*. 3 avril 2013. Vol. 8, n° 4, pp. e60744. DOI 10.1371/journal.pone.0060744.
- CHANG, C C, CHOMEL, B B, KASTEN, R W, HELLER, R M, UENO, H, YAMAMOTO, K, BLEICH, V C, PIERCE, B M, GONZALES, B J, SWIFT, P K, BOYCE, W M, JANG, S S, BOULOUIS, H J, PIÉMONT, Y, ROSSOLINI, G M, RICCIO, M L, CORNAGLIA, G, PAGANI, L, LAGATOLLA, C, SELAN, L et FONTANA, R, 2000. *Bartonella* spp. isolated from wild and domestic ruminants in North America. *Emerging Infectious Diseases*. 2000. Vol. 6, n° 3, pp. 306-311.
- CHOMEL, B.b. et KASTEN, R.w., 2010. Bartonellosis, an increasingly recognized zoonosis. *Journal of Applied Microbiology*. 2010. Vol. 109, n° 3, pp. 743-750. DOI 10.1111/j.1365-2672.2010.04679.x.
- CHOMEL, Bruno B., 2011. Lack of transovarial transmission of *Bartonella* by rodent fleas. *Molecular Ecology*. 2011. Vol. 20, n° 13, pp. 2660-2661. DOI 10.1111/j.1365-294X.2011.05141.x.
- CHRISTODOULOPOULOS, G. et THEODOROPOULOS, G., 2003. Infestation of dairy goats with the human flea, *Pulex irritans*, in central Greece. *Veterinary Record*. 2003. Vol. 152, n° 12, pp. 371-372. DOI 10.1136/vr.152.12.371.
- CHRISTODOULOPOULOS, G., THEODOROPOULOS, G., KOMINAKIS, A. et THEIS, J.H., 2006. Biological, seasonal and environmental factors associated with *Pulex irritans* infestation of dairy goats in Greece. *Veterinary Parasitology*. avril 2006. Vol. 137, n° 1-2, pp. 137-143. DOI 10.1016/j.vetpar.2005.12.012.
- COCKWILL, Ken R., TAYLOR, Susan M., PHILIBERT, Helene M., BREITSCHWERDT, Edward B. et MAGGI, Ricardo G., 2007. *Bartonella vinsonii* subsp. *berkhoffii* endocarditis in a dog from Saskatchewan. *The Canadian Veterinary Journal = La Revue Veterinaire Canadienne*. août 2007. Vol. 48, n° 8, pp. 839-844.
- COLLARD, Franck et SAMAMA, Évelyne, 2015. Poux, puces, punaises, la vermine de l'homme: découverte, description et traitements, Antiquité, Moyen âge, époque moderne [actes des 7e Rencontres d'histoire de la médecine, des pratiques et des représentations médicales, Université de

Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, Centre Scipion de l'Assistance publique-Hôpitaux de Paris, Université de Paris-Ouest Nanterre, 11-13 mars 2015]. Paris : l'Harmattan. ISBN 978-2-343-07898-4. 616.570 09

DEHIO, C, LANZ, C, POHL, R, BEHRENS, P, BERMOND, D, PIÉMONT, Y, PELZ, K et SANDER, AYR 2001, 2001. *Bartonella schoenbuchii* sp. nov., isolated from the blood of wild roe deer. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2001. Vol. 51, n° 4, pp. 1557-1565. DOI 10.1099/00207713-51-4-1557.

DMV - Dictionnaire des médicaments vétérinaires en ligne, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 10 septembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.lepointveterinaire.fr/dmv/consulter.html>

DRYDEN, Michael, 1993. *Biology of fleas of dogs and cats*. *Comp. Cont. Educ. Pract. Vet.* 1 janvier 1993. Vol. 15, pp. 569-579.

DRYDEN, Michael W. et RUST, Michael K., 1994. The cat flea: biology, ecology and control. *Veterinary Parasitology*. 1 mars 1994. Vol. 52, n° 1, pp. 1-19. DOI 10.1016/0304-4017(94)90031-0.

DUODU, Samuel, MADSLIEN, Knut, HJELM, Eva, MOLIN, Ylva, PAZIEWSKA-HARRIS, Anna, HARRIS, Philip D., COLQUHOUN, Duncan J. et YTREHUS, Bjørnar, 2013. *Bartonella* Infections in Deer Keds (*Lipoptena cervi*) and Moose (*Alces alces*) in Norway. *Applied and Environmental Microbiology*. janvier 2013. Vol. 79, n° 1, pp. 322-327. DOI 10.1128/AEM.02632-12.

DUVALLET, Gérard, FONTENILLE, Didier et ROBERT, Vincent, 2017. *Entomologie médicale et vétérinaire*. Quae. IRD Editions. ISBN 978-2-7099-2376-7.

EISEN, Rebecca J., BEARDEN, Scott W., WILDER, Aryn P., MONTENIERI, John A., ANTOLIN, Michael F. et GAGE, Kenneth L., 2006. Early-phase transmission of *Yersinia pestis* by unblocked fleas as a mechanism explaining rapidly spreading plague epizootics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 17 octobre 2006. Vol. 103, n° 42, pp. 15380-15385. DOI 10.1073/pnas.0606831103.

EISEN, Rebecca J., EISEN, Lars et GAGE, Kenneth L., 2009. Studies of Vector Competency and Efficiency of North American Fleas for *Yersinia pestis*: State of the Field and Future Research Needs. *Journal of Medical Entomology*. 1 juillet 2009. Vol. 46, n° 4, pp. 737-744. DOI 10.1603/033.046.0403.

EISEN, Rebecca J. et GAGE, Kenneth L., 2012. Transmission of Flea-Borne Zoonotic Agents. *Annual Review of Entomology*. 7 janvier 2012. Vol. 57, n° 1, pp. 61-82. DOI 10.1146/annurev-ento-120710-100717.

EUZEBY, J., 1966. *Les maladies vermineuses des animaux domestiques et leurs incidences sur la pathologie humaine tome II: maladies dues aux plathelminthes. fascicule 1 : cestodoses*. Paris [fra : Vigot frères. P.04.00-EUZ-M(2.1)bis

FAGBEMI, B. O., 1982. Effect of *Ctenocephalides felis strongylus* infestation on the performance of West African dwarf sheep and goats. *Veterinary Quarterly*. avril 1982. Vol. 4, n° 2, pp. 92-95. DOI 10.1080/01652176.1982.9693846.

FARHANG-AZAD, A., TRAUB, R. et BAQAR, S., 1985. Transovarial Transmission of Murine Typhus *Rickettsia* in *Xenopsylla cheopis* Fleas. *Science*. février 1985. Vol. 227, n° 4686, pp. 543-545. DOI 10.1126/science.3966162.

FONTALVO, Mariana Campos, FAVACHO, Alexandra Rodrigues de Mendonça, ARAUJO, Andreina de Carvalho, SANTOS, Naylla Mayana dos, OLIVEIRA, Glauber Meneses Barboza de, AGUIAR, Daniel

Moura, LEMOS, Elba Regina Sampaio de et HORTA, Mauricio Claudio, 2017. Bartonella species pathogenic for humans infect pets, free-ranging wild mammals and their ectoparasites in the Caatinga biome, Northeastern Brazil: a serological and molecular study. The Brazilian Journal of Infectious Diseases. 1 mai 2017. Vol. 21, n° 3, pp. 290-296. DOI 10.1016/j.bjid.2017.02.002.

FRANC, M, 1994. Puces et méthodes de lutte. . 1994. pp. 19.

FRANC, M., CHOQUART, P. et CADIERGUES, M. C., 1998. Species of fleas found on dogs in France. Revue de Medecine Veterinaire (France). 1998.

FRANC, Michel, 1998. Ctenocephalides felis (bouche, 1835) [siphonaptera : pulicidae] : donnees épidémiologiques et biologiques, méthodes d'évaluation des moyens de lutte [en ligne]. These de doctorat. Toulouse 3. [Consulté le 1 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.theses.fr/1998TOU30008>

FUEHRER, Hans-Peter, IGEL, Petra, TREIBER, Moritz, BAUMANN, Timo A., RIEDL, Julia, SWOBODA, Paul, JOACHIM, Anja et NOEDL, Harald, 2012. Ectoparasites of livestock, dogs, and wild rodents in the Chittagong Hill Tracts in southeastern Bangladesh. Parasitology Research. 1 octobre 2012. Vol. 111, n° 4, pp. 1867-1870. DOI 10.1007/s00436-012-2940-8.

GABRIEL, Mourad W., HENN, Jennifer, FOLEY, Janet E., BROWN, Richard N., KASTEN, Rickie W., FOLEY, Patrick et CHOMEL, Bruno B., 2009. Zoonotic Bartonella species in fleas collected on gray foxes (Urocyon cinereoargenteus). Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N.Y.). décembre 2009. Vol. 9, n° 6, pp. 597-602. DOI 10.1089/vbz.2008.0134.

GAGE, Kenneth L. et KOSOY, Michael Y., 2005. NATURAL HISTORY OF PLAGUE: Perspectives from More than a Century of Research. Annual Review of Entomology. 1 janvier 2005. Vol. 50, n° 1, pp. 505-528. DOI 10.1146/annurev.ento.50.071803.130337.

GALY, A., LOUBET, P., PEIFFER-SMADJA, N. et YAZDANPANAH, Y., 2018. La peste : mise au point et actualités. La Revue de Médecine Interne. novembre 2018. Vol. 39, n° 11, pp. 863-868. DOI 10.1016/j.revmed.2018.03.019.

GHAVAMI, Mohammad Bagher, HAGHI, Fahimeh Pourrastgou, ALIBABAEI, Zohreh, ENAYATI, Ahmad Ali et VATANDOOST, Hassan, 2018. First report of target site insensitivity to pyrethroids in human flea, Pulex irritans (Siphonaptera: Pulicidae). Pesticide Biochemistry and Physiology. avril 2018. Vol. 146, pp. 97-105. DOI 10.1016/j.pestbp.2018.03.004.

GRACIA, M. J., CALVETE, C., ESTRADA, R., CASTILLO, J. A., PERIBÁÑEZ, M. A. et LUCIENTES, J., 2008. Fleas parasitizing domestic dogs in Spain. Veterinary Parasitology. 14 février 2008. Vol. 151, n° 2, pp. 312-319. DOI 10.1016/j.vetpar.2007.10.006.

GRACIA, M J, LUCIENTES, J, FERRER, L M, GARCÍA, L, BURGUETE, M, PERIBÁÑEZ, M A et CASTILLO, J A, 1999. LAS PULGAS EN LAS EXPLOTACIONES DEL GANADO OVINO. . 1999. pp. 3.

GRACIA, María, LUCIENTES, Javier, CASTILLO, Juan, PERIBANEZ, MA, LATORRE, E, ZÁRATE-RAMOS, Juan et ARBEA, I, 2000a. Pulex irritans infestation in dogs. The Veterinary record. 23 décembre 2000. Vol. 147, pp. 748-9. DOI 10.1136/vr.147.26.748.

GRACIA, María, LUCIENTES, Javier, CASTILLO, Juan, PERIBANEZ, MA, LATORRE, E, ZÁRATE-RAMOS, Juan et ARBEA, I, 2000b. Pulex irritans infestation in dogs. The Veterinary record. 23 décembre 2000. Vol. 147, pp. 748-9. DOI 10.1136/vr.147.26.748.

- GRATZ, Dr Norman, 1999. Dr David T. Dennis et Dr Kenneth L. Gage National Center for Infectious Diseases Centers for Disease Control and Prevention Fort Collins, Colorado, Etats-Unis d'Amérique. . 1999. pp. 102.
- HADADZADEH, H. R., 2000. A Report Of Prevalence And Adaptability Of Pulex Irritans In A Breeder Farm Around Tehran. Journal of Veterinary Research. 2000. Vol. 55, n° 2, pp. 67-68.
- HAO, Lili, YUAN, Dongbo, GUO, Li, HOU, Wei, MO, Xi, YIN, Jie, YANG, Aiguo et LI, Rui, 2020. Molecular detection of Bartonella in ixodid ticks collected from yaks and plateau pikas (*Ochotona curzoniae*) in Shiqu County, China. BMC Veterinary Research. 9 juillet 2020. Vol. 16, pp. 235. DOI 10.1186/s12917-020-02452-x.
- HARRIS, Nyeema C., LIVIERI, Travis M. et DUNN, Robert R., 2014. Ectoparasites in Black-footed Ferrets (*Mustela nigripes*) from the Largest Reintroduced Population of the Conata Basin, South Dakota, USA. Journal of Wildlife Diseases. 1 avril 2014. Vol. 50, n° 2, pp. 340-343. DOI 10.7589/2013-03-048.
- HARRISON, Robert L., PATRICK, Michael J. et SCHMITT, C. Gregory, 2003. FOXES, FLEAS, AND PLAGUE IN NEW MEXICO. The Southwestern Naturalist. décembre 2003. Vol. 48, n° 4, pp. 720-722. DOI 10.1894/0038-4909(2003)048<0720:FFAPIN>2.0.CO;2.
- HINNEBUSCH, B. Joseph, 2005. The Evolution of Flea-Borne Transmission in *Yersinia pestis*. Current Issues in Molecular Biology. juillet 2005. Vol. 7, n° 2, pp. 197-212. DOI 10.21775/cimb.007.197.
- <https://biology.byu.edu>, [sans date]. Biology Department [en ligne]. [Consulté le 1 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://biology.byu.edu/fleas-of-the-world/ctenocephalides-felis-felis>
- <https://inpn.mnhn.fr>, [sans date]. Inventaire National du Patrimoine Naturel [en ligne]. [Consulté le 2 juin 2022]. Disponible à l'adresse : <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>
- HU, Li, ZHAO, Yae, YANG, Yanan, ZHANG, Wanyu, GUO, Hongsong et NIU, Dongling, 2021. Molecular Identification, Transcriptome Sequencing and Functional Annotation of *Pulex irritans*. Acta Parasitologica. 1 juin 2021. Vol. 66, n° 2, pp. 605-614. DOI 10.1007/s11686-020-00296-x.
- HUYNH, T, THEAN, J et MAINI, R, 2001. *Dipetalonema reconditum* in the human eye. British Journal of Ophthalmology. 1 novembre 2001. Vol. 85, n° 11, pp. 1391-1392. DOI 10.1136/bjo.85.11.1384.
- IRWIN, Peter J. et JEFFERIES, Ryan, 2004. Arthropod-transmitted diseases of companion animals in Southeast Asia. Trends in Parasitology. janvier 2004. Vol. 20, n° 1, pp. 27-34. DOI 10.1016/j.pt.2003.11.004.
- IZENOUR, Katie, ZIKELI, Shelby, KALALAH, Anwar, DITCHKOFF, Stephen S., STARKEY, Lindsay A., WANG, Chengming et ZOHDY, Sarah, 2020. DIVERSE BARTONELLA SPP. DETECTED IN WHITE-TAILED DEER (*ODOCOILEUS VIRGINIANUS*) AND ASSOCIATED KEDS (*LILOPTENA MAZAMAE*) IN THE SOUTHEASTERN USA. Journal of Wildlife Diseases. juillet 2020. Vol. 56, n° 3, pp. 505-511. DOI 10.7589/2019-08-196.
- JOHN, Manuel, MATHEW, Sely Mary, SEBASTIAN, Vinod, BISWAS, Jyotirmoy et RAMAN, M, 2012. Multiple live subconjunctival *dipetalonema*: Report of a case. Indian Journal of Ophthalmology. 2012. Vol. 60, n° 3, pp. 228-229. DOI 10.4103/0301-4738.95881.
- KAAL, J. F., BAKER, K. et TORGERSON, P. R., 2006. Epidemiology of flea infestation of ruminants in Libya. Veterinary Parasitology. 5 novembre 2006. Vol. 141, n° 3, pp. 313-318. DOI 10.1016/j.vetpar.2006.05.034.

KERNIF, Tahar, LEULMI, Hamza, SOCOLOVSKI, Cristina, BERENGER, Jean-Michel, LEPIDI, Hubert, BITAM, Idir, ROLAIN, Jean-Marc, RAOULT, Didier et PAROLA, Philippe, 2014. Acquisition and excretion of *Bartonella quintana* by the cat flea, *Ctenocephalides felis felis*. *Molecular Ecology*. mars 2014. Vol. 23, n° 5, pp. 1204-1212. DOI 10.1111/mec.12663.

KILONZO, B. S. et KHAMA, I. R. S., 1989. Effects of goat (*Capra hircus*) age and sex on flea infestation in Tanzania. *Bulletin of animal health and production in Africa = Bulletin de la sante et de la production animales en Afrique*. 1989.

KORHONEN, E. M., VERA, C. Pérez, PULLIAINEN, A. T., SIRONEN, T., AALTONEN, K., KORTET, R., HÄRKÖNEN, L., HÄRKÖNEN, S., PAAKKONEN, T., NIEMINEN, P., MUSTONEN, A.-M., YLÖNEN, H. et VAPALAHTI, O., 2015. Molecular detection of *Bartonella* spp. in deer ked pupae, adult keds and moose blood in Finland. *Epidemiology & Infection*. février 2015. Vol. 143, n° 3, pp. 578-585. DOI 10.1017/S0950268814001411.

KOSOY, Michael, BAI, Ying, ENSCORE, Russell, RIZZO, Maria Rosales, BENDER, Scott, POPOV, Vsevolod, ALBAYRAK, Levent, FOFANOV, Yuriy et CHOMEL, Bruno, 2016. *Bartonella melophagi* in blood of domestic sheep (*Ovis aries*) and sheep keds (*Melophagus ovinus*) from the southwestern US: Cultures, genetic characterization, and ecological connections. *Veterinary Microbiology*. 15 juillet 2016. Vol. 190, pp. 43-49. DOI 10.1016/j.vetmic.2016.05.009.

KOUTINAS, Alexander F., PAPAZHARIADOU, Margaret G., RALLIS, Tim S., TZIVARA, Nancy H. et HIMONAS, Christos A., 1995. Flea species from dogs and cats in northern Greece: environmental and clinical implications. *Veterinary Parasitology*. mai 1995. Vol. 58, n° 1-2, pp. 109-115. DOI 10.1016/0304-4017(94)00706-I.

KUMSA, Bersissa, PAROLA, Philippe, RAOULT, Didier et SOCOLOVSKI, Cristina, 2014. *Bartonella melophagi* in *Melophagus ovinus* (sheep ked) collected from sheep in northern Oromia, Ethiopia. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 1 janvier 2014. Vol. 37, n° 1, pp. 69-76. DOI 10.1016/j.cimid.2013.11.001.

KUSILUKA, L. J.M., KAMBARAGE, D. M., MATTHEWMAN, R. W., DABORN, C. J. et HARRISON, L. J.S., 1995. Prevalence of Ectoparasites of Goats in Tanzania. *Journal of Applied Animal Research*. 1 mars 1995. Vol. 7, n° 1, pp. 69-74. DOI 10.1080/09712119.1995.9706052.

LAFON, Audrey et SERCEAU, Faustine, 2019. Puces du chien et du chat dans l'Ouest de la France : enquête épidémiologique et prévalence des bactéries zoonotiques des genres *Bartonella* spp. et *Rickettsia* spp. par détection moléculaire. 2019-TOU3-4062

LAUDISOIT, Anne, LEIRS, Herwig, MAKUNDI, Rhodes H., VAN DONGEN, Stefan, DAVIS, Stephen, NEERINCKX, Simon, DECKERS, Jozef et LIBOIS, Roland, 2007. Plague and the human flea, Tanzania. *Emerging Infectious Diseases*. mai 2007. Vol. 13, n° 5, pp. 687-693. DOI 10.3201/eid1305.061084.

LIU, Yonghong, HE, Bo, LI, Fei, LI, Kairui, ZHANG, Luyao, LI, Xianqiang et ZHAO, Li, 2018. Molecular Identification of *Bartonella melophagi* and *Wolbachia* Supergroup F from Sheep Keds in Xinjiang, China. *The Korean Journal of Parasitology*. août 2018. Vol. 56, n° 4, pp. 365-370. DOI 10.3347/kjp.2018.56.4.365.

LÓPEZ-PÉREZ, A. M., OSIKOWICZ, L., BAI, Y., MONTENIERI, J., RUBIO, A., MORENO, K., GAGE, K., SUZÁN, G. et KOSOY, M., 2017. Prevalence and Phylogenetic Analysis of *Bartonella* Species of Wild Carnivores and Their Fleas in Northwestern Mexico. *EcoHealth*. mars 2017. Vol. 14, n° 1, pp. 116-129. DOI 10.1007/s10393-017-1216-2.

MAGGI, Ricardo G., KOSOY, Michael, MINTZER, Melanie et BREITSCHWERDT, Edward B., 2009. Isolation of *Candidatus Bartonella melophagi* from Human Blood. *Emerging Infectious Diseases*. janvier 2009. Vol. 15, n° 1, pp. 66-68. DOI 10.3201/eid1501.081080.

MAILLARD, Renaud, RIEGEL, Philippe, BARRAT, Francine, BOUILLIN, Corinne, THIBAUT, Danielle, GANDOIN, Christelle, HALOS, Lénaig, DEMANCHE, Christine, ALLIOT, Annie, GUILLOT, Jacques, PIÉMONT, Yves, BOULOUIS, Henri-Jean et VAYSSIER-TAUSSAT, Muriel, 2004. *Bartonella chomelii* sp. nov., isolated from French domestic cattle (*Bos taurus*). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 1 janvier 2004. Vol. 54, n° 1, pp. 215-220. DOI 10.1099/ijs.0.02770-0.

MCGEE, Brady K., BUTLER, Matthew J., PENCE, Danny B., ALEXANDER, James L., NISSEN, Janet B., BALLARD, Warren B. et NICHOLSON, Kerry L., 2006. Possible Vector Dissemination by Swift Foxes following a Plague Epizootic in Black-tailed Prairie Dogs in Northwestern Texas. *Journal of Wildlife Diseases*. 1 avril 2006. Vol. 42, n° 2, pp. 415-420. DOI 10.7589/0090-3558-42.2.415.

MEDVEDEV, S. G., 2017. Adaptations of fleas (Siphonaptera) to parasitism. *Entomological Review*. novembre 2017. Vol. 97, n° 8, pp. 1023-1030. DOI 10.1134/S0013873817080012.

Med'Vet. [en ligne]. [Consulté le 10 septembre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.medvet.fr/>

MILLÁN, Javier, TRAVAINI, Alejandro, CEVIDANES, Aitor, SACRISTÁN, Irene et RODRÍGUEZ, Alejandro, 2019. Assessing the natural circulation of canine vector-borne pathogens in foxes, ticks and fleas in protected areas of Argentine Patagonia with negligible dog participation. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*. 1 avril 2019. Vol. 8, pp. 63-70. DOI 10.1016/j.ijppaw.2018.11.007.

MILLER, William H., GRIFFIN, Craig E. et CAMPBELL, Karen L., 2013. *Muller and Kirk's Small Animal Dermatology*. Elsevier Health Sciences. ISBN 978-0-323-24193-9.

MORICK, Danny, KRASNOV, Boris R., KHOKHLOVA, Irina S., GOTTLIEB, Yuval et HARRUS, Shimon, 2011. Investigation of *Bartonella* acquisition and transmission in *Xenopsylla ramesis* fleas (Siphonaptera: Pulicidae). *Molecular Ecology*. juillet 2011. Vol. 20, n° 13, pp. 2864-2870. DOI 10.1111/j.1365-294X.2011.05033.x.

MOULINIER, Claude, 2002. *Parasitologie et mycologie médicales: éléments de morphologie et de biologie*. Cachan : Editions médicales internationales. ISBN 978-2-7430-0488-0. QX 4 MOU, P.01.00-MOU-P

NI, Jun, REN, Qiaoyun, LIN, Hanliang, AIZEZI, Malike, LUO, Jin, LUO, Yi, MA, Zhan, CHEN, Ze, LIU, Wenge, GUO, Junhui, QU, Zhiqiang, XU, Xiaofeng, WU, Zegong, TAN, Yangchun, WANG, Jinming, LI, Youquan, GUAN, Guiquan, LUO, Jianxun, YIN, Hong et LIU, Guangyuan, 2021. Molecular Evidence of *Bartonella melophagi* in Ticks in Border Areas of Xinjiang, China. *Frontiers in Veterinary Science*. 22 juin 2021. Vol. 8, pp. 675457. DOI 10.3389/fvets.2021.675457.

OBASAJU, M. F. et OTESILE, E. B., 1980. *Ctenocephalides canis* infestation of sheep and goats. *Tropical Animal Health and Production*. 1 juin 1980. Vol. 12, n° 2, pp. 116-118. DOI 10.1007/BF02242620.

O'DONNELL, Megan et ELSTON, Dirk M., 2020. What's Eating You? Human Flea (*Pulex irritans*). *Cutis* [en ligne]. 1 novembre 2020. Vol. 106, n° 5. [Consulté le 23 février 2022]. DOI 10.12788/cutis.0107. Disponible à l'adresse : <https://www.mdedge.com/dermatology/article/231222/infectious-diseases/whats-eating-you-human-flea-pulex-irritans>

OLARTE, Liset, AMPOFO, Krow, THORELL, Emily A., SANDERSON, Susan, DOBY, Elizabeth, PAVIA, Andrew T., ROSADO, Harry, RAOULT, Didier, SOCOLOVSKI, Cristina et HERSH, Adam L., 2012.

Bartonella vinsonii Endocarditis in an Adolescent With Congenital Heart Disease. The Pediatric Infectious Disease Journal. mai 2012. Vol. 31, n° 5, pp. 531-534. DOI 10.1097/INF.0b013e31824ba95a.

OPASINA, B. A., 1983. *Ctenocephalides canis* infestation of goats. Tropical Animal Health and Production [en ligne]. 1983. [Consulté le 9 mars 2022]. DOI 10.1007/BF02242620. Disponible à l'adresse : <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/29770>

PALOMAR, Ana M., CEVIDANES, Aitor, PORTILLO, Aránzazu, KALEMA-ZIKUSOKA, Gladis, CHIRIFE, Andrea D., ROMERO, Lourdes, MURO, Jesús, MUGISHA, Lawrence, OTEO, José A. et MILLÁN, Javier, 2017. High Prevalence of *Rickettsia* spp. in Dog Fleas (Siphonaptera: Pulicidae) in Rural Uganda. Journal of Medical Entomology. juillet 2017. Vol. 54, n° 4, pp. 1076-1079. DOI 10.1093/jme/tjx048.

PAROLA, Philippe, STANISLAV, Shpynov, MONTOYA, Manuel, LÓPEZ, Martha, HOUPIKIAN, Pierre, ZEAITER, Zaher, GUERRA, Humberto et RAOULT, Didier, 2002. First molecular evidence of new *Bartonella* spp. in fleas and a tick from Perú. The American journal of tropical medicine and hygiene. 1 septembre 2002. Vol. 67, pp. 135-6. DOI 10.4269/ajtmh.2002.67.135.

PENNINGTON, Neil E. et PHELPS, Constance A., 1969. Canine Filariasis on Okinawa, Ryukyu Islands. Journal of Medical Entomology. 1 janvier 1969. Vol. 6, n° 1, pp. 59-67. DOI 10.1093/jmedent/6.1.59.

PÉREZ-MARTÍNEZ, Laura, VENZAL, José M., GONZÁLEZ-ACUÑA, Daniel, PORTILLO, Aránzazu, BLANCO, José R. et OTEO, José A., 2009. *Bartonella rochalimae* and other *Bartonella* spp. in fleas, Chile. Emerging infectious diseases. 2009. Vol. 15, n° 7, pp. 1150-1152. DOI 10.3201/eid1507.081570.

PÉREZ-TANOIRA, Ramón, RAMOS-RINCÓN, José M., MARTÍN-MARTÍN, Inés, PRIETO-PÉREZ, Laura, TEFASMARIAM, Abraham, TIZIANO, Gebre, ANDA, Pedro, GONZÁLEZ-MARTÍN-NIÑO, Rosa M., RODRÍGUEZ-VARGAS, Manuela, GÓRGOLAS, Miguel et JADO, Isabel, 2020. Molecular Survey of *Rickettsia* spp., *Anaplasma* spp., *Ehrlichia* spp., *Bartonella* spp., and *Borrelia* spp. in Fleas and Lice in Ethiopia. Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N.Y.). janvier 2020. Vol. 20, n° 1, pp. 10-14. DOI 10.1089/vbz.2019.2500.

PIOTROWSKI, F. et POLOMSKA, J., 1975. Pasożyty zewnętrzne psa domowego (*Canis familiaris* L.) z terenu Gdańska. Wiadomości Parazytologiczne. 1975. Vol. 21, n° 3.

RAHBARI, S., NABIAN, S., NOUROLAHI, F., ARABKHAZAEI, F. et EBRAHIMZADEH, E., 2008. Flea Infestation in Farm Animals and Its Health Implication. Iranian Journal of Parasitology. 2008. Vol. 3, n° 2, pp. 43-47.

RAKOTONANAHARY, Rado J. L., HARRISON, Alan, MAINA, Alice N., JIANG, Ju, RICHARDS, Allen L., RAJERISON, Minoarisoa et TELFER, Sandra, 2017. Molecular and serological evidence of flea-associated typhus group and spotted fever group rickettsial infections in Madagascar. Parasites & Vectors. 4 mars 2017. Vol. 10, n° 1, pp. 125. DOI 10.1186/s13071-017-2061-4.

RAMÍREZ-HERNÁNDEZ, Alejandro, MONTOYA, Viviana, MARTÍNEZ, Alejandra, PÉREZ, Jorge E., MERCADO, Marcela, DE LA OSSA, Alberto, VÉLEZ, Carolina, ESTRADA, Gloria, CORREA, Maria I., DUQUE, Laura, ARIZA, Juan S., HENAO, Cesar, VALBUENA, Gustavo et HIDALGO, Marylin, 2013. Molecular Detection of *Rickettsia felis* in Different Flea Species from Caldas, Colombia. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene. 4 septembre 2013. Vol. 89, n° 3, pp. 453-459. DOI 10.4269/ajtmh.12-0698.

RASIS, Michal, RUDOLER, Nir, SCHWARTZ, David et GILADI, Michael, 2014. *Bartonella dromedarii* sp. nov. Isolated from Domesticated Camels (*Camelus dromedarius*) in Israel. Vector-Borne and Zoonotic Diseases. novembre 2014. Vol. 14, n° 11, pp. 775-782. DOI 10.1089/vbz.2014.1663.

- RATOVONJATO, Jocelyn, RAJERISON, Minoarisoa, RAHELINIRINA, Soanandrasana et BOYER, Sébastien, 2014. *Yersinia pestis* in *Pulex irritans* Fleas during Plague Outbreak, Madagascar. *Emerging Infectious Diseases*. août 2014. Vol. 20, n° 8, pp. 1414-1415. DOI 10.3201/eid2008.130629.
- REIF, Kathryn E. et MACALUSO, Kevin R., 2009. Ecology of *Rickettsia felis*: A Review. *Journal of Medical Entomology*. 1 juillet 2009. Vol. 46, n° 4, pp. 723-736. DOI 10.1603/033.046.0402.
- REIF, Kathryn E., STOUT, Rhett W., HENRY, Gretchen C., FOIL, Lane D. et MACALUSO, Kevin R., 2008. Prevalence and infection load dynamics of *Rickettsia felis* in actively feeding cat fleas. *PloS One*. 30 juillet 2008. Vol. 3, n° 7, pp. e2805. DOI 10.1371/journal.pone.0002805.
- ROLAIN, Jean-Marc, BOURRY, Olivier, DAVOUST, Bernard et RAOULT, Didier, 2005. *Bartonella quintana* and *Rickettsia felis* in Gabon. *Emerging Infectious Diseases*. novembre 2005. Vol. 11, n° 11, pp. 1742-1744. DOI 10.3201/eid1111.050861.
- ROUX, V., EYKYN, S. J., WYLLIE, S. et RAOULT, D., 2000. *Bartonella vinsonii* subsp. *berkhoffii* as an agent of afebrile blood culture-negative endocarditis in a human. *Journal of Clinical Microbiology*. avril 2000. Vol. 38, n° 4, pp. 1698-1700. DOI 10.1128/JCM.38.4.1698-1700.2000.
- RUDOLF, Ivo, BETÁŠOVÁ, Lenka, BISCHOF, Vlastimil, VENCLÍKOVÁ, Kristýna, BLAŽEJOVÁ, Hana, MENDEL, Jan, HUBÁLEK, Zdeněk et KOSOY, Michael, 2016. Molecular survey of arthropod-borne pathogens in sheep keds (*Melophagus ovinus*), Central Europe. *Parasitology Research*. 1 octobre 2016. Vol. 115, n° 10, pp. 3679-3682. DOI 10.1007/s00436-016-5175-2.
- RYDKINA, E B, ROUX, V, GAGUA, E M, PREDTECHENSKI, A B, TARASEVICH, I V et RAOULT, D, 1999. *Bartonella quintana* in body lice collected from homeless persons in Russia. *Emerging Infectious Diseases*. 1999. Vol. 5, n° 1, pp. 176-178.
- SACKAL, Cherilyn, LAUDISOIT, Anne, KOSOY, Michael, MASSUNG, Robert, EREMEEVA, Marina E., KARPATY, Sandor E., VAN WYK, Kristen, GABITZSCH, Elizabeth et ZEIDNER, Nordin S., 2008. *Bartonella* spp. and *Rickettsia felis* in Fleas, Democratic Republic of Congo. *Emerging Infectious Diseases*. décembre 2008. Vol. 14, n° 12, pp. 1972-1974. DOI 10.3201/eid1412.080610.
- SAVEY, Marc et DUFOUR, 2004. DIVERSITE DES ZONOSSES. DEFINITIONS ET CONSEQUENCES POUR LA SURVEILLANCE ET LA LUTTE. . 2004. pp. 16.
- SIMON, Mathilde, 2009. Eradication des puces : de la biologie au traitement. Nancy 1 : Université Henri Poincaré.
- SRÉTER, T., SZÉLL, Z. et VARGA, I., 2003. Ectoparasite infestations of red foxes (*Vulpes vulpes*) in Hungary. *Veterinary Parasitology*. août 2003. Vol. 115, n° 4, pp. 349-354. DOI 10.1016/S0304-4017(03)00216-4.
- TSAI, Yi-Lun, CHANG, Chao-Chin, CHUANG, Shih-Te et CHOMEL, Bruno B., 2011. *Bartonella* species and their ectoparasites: Selective host adaptation or strain selection between the vector and the mammalian host? *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. juillet 2011. Vol. 34, n° 4, pp. 299-314. DOI 10.1016/j.cimid.2011.04.005.
- TSOI, Fei Man Bernice, ŠLAPETA, Jan et REYNOLDS, Michael, 2020. *Ctenocephalides felis* (cat flea) infestation in neonatal dairy calves managed with deltamethrin pour-on in Australia. *Veterinary Parasitology*. mars 2020. Vol. 279, pp. 109039. DOI 10.1016/j.vetpar.2020.109039.
- UGOCHUKWU, E I et APEH, A O, 1985. Prevalence of ectoparasites of small ruminants in Nsukka, Nigeria. *International journal of zoonoses*. 1 décembre 1985. Vol. 12, n° 4, pp. 313-317.

VÍCHOVÁ, Bronislava, BONA, Martin, MITERPÁKOVÁ, Martina, KRALJIK, Jasna, ČABANOVÁ, Viktória, NEMČÍKOVÁ, Gabriela, HURNÍKOVÁ, Zuzana et ORAVEC, Martin, 2018. Fleas and Ticks of Red Foxes as Vectors of Canine Bacterial and Parasitic Pathogens, in Slovakia, Central Europe. *Vector Borne and Zoonotic Diseases* (Larchmont, N.Y.). novembre 2018. Vol. 18, n° 11, pp. 611-619. DOI 10.1089/vbz.2018.2314.

VILLENEUVE, Alain, 2003. Les zoonoses parasitaires: l'infection chez les animaux et chez l'homme. PUM. ISBN 978-2-7606-1863-3.

XHAXHIU, Dashamir, KUSI, Ilir, RAPTI, Dhimiter, VISSER, Martin, KNAUS, Martin, LINDNER, Thomas et REHBEIN, Steffen, 2009. Ectoparasites of dogs and cats in Albania. *Parasitology Research*. 1 novembre 2009. Vol. 105, n° 6, pp. 1577-1587. DOI 10.1007/s00436-009-1591-x.

YAGOOB, Garedaghi, 2011. Flea Infestation in Farm Animals and its Zoonotic Importance in East-Azerbaijan Province. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*. 1 décembre 2011. Vol. 6, n° 4, pp. 193-196. DOI 10.3844/ajavsp.2011.193.196.

YAKHCHALI, Mohammad et BAHRAMNEJAD, Kia, 2015. A survey of *Pulex irritans* (Linnaeus 1758, Siphonaptera: Pulicidae) infestation in sheep and residential areas in Kurdistan Province, Iran. *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology*. 1 juillet 2015. Vol. 7, n° 1, pp. 40-47. DOI 10.22067/veterinary.v7i1.37203.

YERUHAM, I., ROSEN, S. et PERL, S., 1997. An Apparent Flea-allergy Dermatitis in Kids and Lambs. *Journal of Veterinary Medicine Series A*. 1997. Vol. 44, n° 1-10, pp. 391-397. DOI 10.1111/j.1439-0442.1997.tb01124.x.

YORE, K., DIGANGI, B., BREWER, M., BALAKRISHNAN, N., BREITSCHWERDT, E. B. et LAPPIN, M., 2014. Flea species infesting dogs in Florida and *Bartonella* spp. prevalence rates. *Veterinary Parasitology*. 31 janvier 2014. Vol. 199, n° 3, pp. 225-229. DOI 10.1016/j.vetpar.2013.10.017.

ZEAITER, Zaher, HOUPIKIAN, Pierre, PAROLA, Philippe, MONTOYA, Manuel, LOPEZ, Martha, GUERRA, Humberto, SHPYNOV, Stanislav et RAOULT, Didier, 2002. First molecular evidence of new *Bartonella* spp. in fleas and a tick from Peru. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*. 1 août 2002. Vol. 67, n° 2, pp. 135-136. DOI 10.4269/ajtmh.2002.67.135.

ZOUARI, Saba, KHROUF, Fatma, M'GHIRBI, Youmna et BOUATTOUR, Ali, 2017. First molecular detection and characterization of zoonotic *Bartonella* species in fleas infesting domestic animals in Tunisia. *Parasites & Vectors*. 19 septembre 2017. Vol. 10, n° 1, pp. 436. DOI 10.1186/s13071-017-2372-5.

ZURITA, A., CALLEJÓN, R., GARCÍA-SÁNCHEZ, Á. M., URDAPILLETA, M., LARESCHI, M. et CUTILLAS, C., 2019. Origin, evolution, phylogeny and taxonomy of *Pulex irritans*. *Medical and Veterinary Entomology*. 2019. Vol. 33, n° 2, pp. 296-311. DOI 10.1111/mve.12365.

ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire proposé aux éleveurs de petits ruminants d'Ariège, Aveyron, Lozère et Tarn

07/09/2022 23:24

Questionnaire éleveurs ovins/caprins Thèse ENVT

Questionnaire éleveurs ovins/caprins Thèse ENVT

Madame, Monsieur.

Nous sommes deux étudiants actuellement en 4^{ème} année à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT). Nous avons pour projet de réaliser, dans le cadre de nos études, une thèse sur les infestations de puces dans les élevages de brebis et de chèvres de notre région. Ce travail est encadré par Emilie Bouhsira, maître de conférences et enseignante chercheuse au département de Parasitologie et Maladies parasitaires à l'ENVT. Afin d'avancer au mieux sur ce projet qui constituera notre mémoire de fin d'études, nous vous demandons de bien vouloir répondre à ces quelques questions avec le plus d'attention possible.

Le présent questionnaire est divisé en plusieurs parties :

- partie 1 : renseignements généraux
- partie 2 : informations sur votre conduite d'élevage
- partie 3 : informations quant à votre infestation de puces
- partie 4 (si vous êtes toujours infesté) : informations sur vos stratégies de lutte face à cette infestation

Durée du questionnaire : maximum 10 minutes.

Merci pour votre collaboration.

Célestine Goyard et Matthias Lambert

*Obligatoire

Renseignements généraux (partie 1)

1. NOM - Prénom *

2. Numéro de téléphone : *

3. Adresse mail : *

4. Vous êtes éleveur de : *

Plusieurs réponses possibles.

- Ovins lait
- Ovins viande
- Caprins lait
- Caprins viande
- Autre : _____

5. Avec quelle clinique vétérinaire travaillez vous ? *

6. Adresse de vos bâtiments d'EXPLOITATION : *

N°, nom de la voie (ou lieu-dit) - Code postal VILLE. Exemple : 1 rue du pont - 31300 TOULOUSE

7. Adresse personnelle de votre lieu d'HABITATION : *

N°, nom de la voie (ou lieu-dit) - Code postal VILLE. Exemple : 3 rue du lavoir - 31300 TOULOUSE

8. Elevez-vous ou possédez vous d'autres espèces ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Non, aucune
- Bovins
- Porcins
- Chiens
- Chats
- Autre : _____

9. Quel type de litière utilisez vous dans vos bâtiments ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Paille de blé
- Paille d'orge
- Paille de colza
- Chanvre
- Autre : _____

Section sans titre

10. Stockez-vous la paille/litière à proximité de vos animaux ? *

Une seule réponse possible.

- Oui, dans le même bâtiment ou dans un bâtiment attenant
- Non, dans un autre bâtiment

11. Achetez-vous de la paille/litière auprès d'autres agriculteurs ? *

Une seule réponse possible.

- Oui, exclusivement
- Oui, j'en produis mais j'ai parfois besoin de m'approvisionner ailleurs
- Non, tout ce que je produis me suffit

12. A quelle fréquence curez-vous le fumier ? *

Une seule réponse possible.

- 1 fois par an
- 2 fois par an
- 3 fois par an
- 4 fois par an
- 1 fois par mois
- Autre : _____

13. Comment procédez-vous pour le nettoyage de vos bâtiments ? (plusieurs réponses possibles) *

NB : si utilisation d'un produit de nettoyage remplir l'option [Autre] et indiquer le nom du produit

Plusieurs réponses possibles.

- Curage du fumier
- Nettoyage à l'eau
- Nettoyage à l'eau sous pression
- Autre : _____

14. A quelle fréquence réalisez-vous un nettoyage des bâtiments ? *

Une seule réponse possible.

- 1 fois par an
 2 fois par an
 3 fois par an
 4 fois par an
 1 fois par mois
 Autre : _____

15. A quelle fréquence réalisez-vous une désinfection de vos bâtiments ? *

Une seule réponse possible.

- Jamais
 A chaque nettoyage
 1 fois par an
 2 fois par an
 3 fois par an
 4 fois par an
 1 fois par mois
 Autre : _____

16. Avec quel produit désinfectez-vous vos bâtiments d'élevage, le cas échéant ?

17. Avez vous déjà utilisé des produits insecticides dans vos bâtiments d'élevage ? *

Une seule réponse possible.

- Oui *Passer à la question 18*
 Non *Passer à la question 20*

Insecticide dans les bâtiments

18. Quel produit insecticide avez-vous utilisé dans vos bâtiments ?

19. A quelle fréquence utilisez vous ce produit dans vos bâtiments ?

Une seule réponse possible.

- A chaque nettoyage
- 1 fois par an
- 2 fois par an
- 3 fois par an
- 4 fois par an
- 1 fois par mois
- Autre : _____

Conduite d'élevage (partie 2)

20. Conduite d'élevage : renseigner la période de l'année pour laquelle les animaux * sont DANS LES BATIMENTS 24H/24 (plusieurs réponses possibles)

Plusieurs réponses possibles.

- Toute l'année en hors sol
- Janvier
- Février
- Mars
- Avril
- Mai
- Juin
- Juillet
- Août
- Septembre
- Octobre
- Novembre
- Décembre

21. Conduite d'élevage : renseigner la période de l'année pour laquelle les animaux *
sont DEHORS LA JOURNEE ET RENTRENT LA NUIT (plusieurs réponses
possibles)

Plusieurs réponses possibles.

- Jamais
- Toute l'année
- Janvier
- Février
- Mars
- Avril
- Mai
- Juin
- Juillet
- Août
- Septembre
- Octobre
- Novembre
- Décembre

22. Conduite d'élevage : renseigner la période de l'année pour laquelle les animaux *
sont DEHORS 24H/24 (plusieurs réponses possible)

Plusieurs réponses possibles.

- Jamais
- Janvier
- Février
- Mars
- Avril
- Mai
- Juin
- Juillet
- Août
- Septembre
- Octobre
- Novembre
- Décembre

23. Conduite d'élevage : renseigner la date de mise à la reproduction *

Plusieurs réponses possibles.

- Non synchronisé : lutte naturelle (saillies étalées)
- Janvier
- Février
- Mars
- Avril
- Mai
- Juin
- Juillet
- Août
- Septembre
- Octobre
- Novembre
- Décembre
- Autre : _____

24. Traitez vous de façon systématique tous vos ovins/caprins contre les parasites internes (vers, douves, ...) ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non Passer à la question 32

Traitement parasites internes animaux de rente

25. Avec quel produit traitez-vous les parasites internes (vers, douves, ...) de vos ovins/caprins ADULTES ?

Plusieurs réponses possibles.

- BAYMEC
- CESTOCUR
- CEVAMEC
- CYDECTINE
- DOUVISTOME
- EPRECIS
- IVOMEC
- LEVISOLE
- ORAMEC
- PANACUR
- VALBAZEN
- Autre : _____

26. A quelle dose ?

27. A quelle fréquence ?

Une seule réponse possible.

- Tous les mois
- Tous les 2 mois
- Tous les 3 mois
- Tous les 4 mois
- Tous les 6 mois
- 1 fois par an
- Moins d'une fois par an
- Autre : _____

28. Effectuez-vous un traitement spécifique antiparasitaire interne (coccidiose, vers, douves, ...) pour les JEUNES (agneaux/chevreaux) ? *

Une seule réponse possible.

- Oui *Passer à la question 29*
- Non *Passer à la question 32*

Traitement antiparasitaire interne pour les agneaux/chevreaux

29. Avec quel produit traitez-vous les parasites internes (vers, douves, ...) de vos JEUNES animaux (agneaux/chevreaux) ?

Plusieurs réponses possibles.

- BAYCOX
- BAYMEC
- CESTOCUR
- CEVAMEC
- CYDECTINE
- DOUVISTOME
- EPRECIS
- IVOMEC
- LEVISOLE
- ORAMEC
- PANACUR
- VALBAZEN
- Autre : _____

30. A quelle dose ?

31. A quelle fréquence traitez-vous les jeunes (avant la vente à l'abattoir ou la mise à la reproduction des agnelles de renouvellement) ?

Une seule réponse possible.

- 1 seule fois
 2 fois
 3 fois
 Autre : _____

32. Traitez vous de façon systématique tous vos ovins/caprins contre les parasites externes (tiques, puces, poux,...) ? *

Une seule réponse possible.

- Oui *Passer à la question 33*
 Non *Passer à la question 35*

Traitement parasites externes animaux de rente

33. Avec quel produit traitez-vous les parasites externes (puces, tiques, poux,...) de vos ovins/caprins ?

Plusieurs réponses possibles.

- BUTOX
 DECTOSPOT
 DELTANIL
 ECTOFLY
 SEBACIL
 SPOTINOR
 VERSATRINE
 Autre : _____

34. A quelle fréquence ?

Une seule réponse possible.

- Tous les mois
- Tous les 2 mois
- Tous les 3 mois
- Tous les 4 mois
- Tous les 6 mois
- 1 fois par an
- Moins d'une fois par an
- Autre : _____

Animaux domestiques

35. Traitez-vous de façon systématique TOUS vos animaux domestiques (chiens/chats) contre les parasites internes (vers) ou externes (puces, tiques, ...)

Une seule réponse possible.

- Oui *Passer à la question 36*
- Non *Passer à la question 38*

Traitement parasites animaux domestiques

36. Avec quel produit traitez-vous les parasites internes (vers) et externes (puces, tiques) de vos animaux domestiques ? (plusieurs réponses possibles pour chiens et chats)

Plusieurs réponses possibles.

- ADVANTAGE (pipette)
 ADVANTIX (pipette)
 ADVOCATE (pipette)
 BRAVECTO (pipette)
 BRAVECTO (comprimé)
 BROADLINE (pipette)
 COMFORTIS (comprimé)
 FRONTLINE (pipette)
 METROBACTIN (comprimé)
 MILBEMAX (comprimé)
 SCALIBOR (collier)
 SERESTO (collier)
 STRONGHOLD (pipette)
 VECTRA (pipette)
 Autre : _____

37. A quelle fréquence ?

Une seule réponse possible.

- Tous les mois
 Tous les 2 mois
 Tous les 3 mois
 Tous les 4 mois
 Tous les 6 mois
 1 fois par an
 Moins d'une fois par an

Déjà touché par les puces ?

38. Avez-vous déjà été touché par les infestations de puces dans votre foyer et/ou dans votre élevage ? *

Une seule réponse possible.

- Oui je le suis encore actuellement *Passer à la question 39*
 Oui, mais je m'en suis débarrassé *Passer à la question 57*
 Non, je n'ai jamais eu de problèmes avec les puces *Passer à la question 71*

Elevage actuellement touché par les puces (partie 3)

39. Depuis quand environ, êtes-vous touché par les infestations de puces ? *

Une seule réponse possible.

- Depuis quelques mois
- Depuis un an
- Depuis 2 ans
- Depuis 3 ans
- Depuis 4 ans
- Depuis 5 ans
- Depuis plus de 5 ans

40. Sur une échelle de 1 à 10 à combien estimez vous le désagrément causé par votre infestation ? *

Une seule réponse possible.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pas dérangeant du tout	<input type="radio"/>	Très dérangeant								

41. Sur une échelle de 1 à 10 à combien estimez-vous votre motivation à vouloir vous en débarrasser ? *

Une seule réponse possible.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pas motivé du tout	<input type="radio"/>	Très motivé								

42. Ces puces ont-elles été retrouvées (plusieurs réponses possibles) : *

Plusieurs réponses possibles.

- Sur les animaux de production (ovins/caprins)
- Sur les animaux domestiques (chiens/chats)
- Dans la litière
- Dans votre foyer
- Dans les vêtements
- Directement sur vous ou vos proches
- Autre : _____

43. A quelle période de l'année êtes vous le plus dérangé par ces infestations de puces (plusieurs réponses possibles) ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Janvier
- Février
- Mars
- Avril
- Mai
- Juin
- Juillet
- Août
- Septembre
- Octobre
- Novembre
- Décembre

44. Avez-vous observé des répercussions sur vos animaux (ovins/caprins) ? : *

Plusieurs réponses possibles.

- Non, aucune répercussion
- Léchage
- Frottements aux barrières ou aux murs
- Dépilations (zones sans poils)
- Rougeurs sans saignement
- Plaies avec saignements et/ou croûtes
- Autre : _____

45. Quels animaux sont les plus touchés ? *

Une seule réponse possible.

- Aucun
- Les jeunes en majorité (agneaux/chevreaux)
- Les adultes en majorité
- Les deux sans distinction
- Autre : _____

46. Avez-vous observé des répercussions sur vous ou vos proches ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Non, aucune répercussion
- Démangeaisons
- Rougeurs sans saignements
- Plaies, avec saignements et croûtes
- Autre : _____

47. Quels individus sont les plus touchés (plusieurs réponses possibles) ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Aucun
- Surtout les enfants
- Surtout les femmes
- Surtout les hommes
- Tout le monde sans distinction
- Autre : _____

48. Selon vous, quelle pourrait être l'origine de l'infestation de puces (plusieurs réponses possibles) ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Je n'ai aucune idée d'où peut venir l'infestation de puces
- J'ai acheté des animaux possiblement infestés de puces
- J'ai eu la visite d'éleveurs ou d'employés travaillant dans d'autres élevages qui étaient possiblement infestés de puces
- J'ai échangé du matériel avec d'autres éleveurs dont l'élevage est possiblement infesté de puces
- J'ai acheté de la paille ou du foin provenant d'autres élevages possiblement infesté de puces
- Autre : _____

49. Il y a combien de temps ? *

Une seule réponse possible.

- Je ne sais pas
- Régulièrement, tous les mois
- Régulièrement, 2 à 3 fois par an
- Régulièrement, 1 à 2 fois par an
- Il y a 1 an
- Il y a 2 ans
- Il y a 3 ans
- Il y a 4 ans
- Il y a 5 ans
- Il y a plus de 5 ans

50. Accepteriez-vous d'effectuer des prélèvements de puces et de les envoyer à l'Ecole Vétérinaire de Toulouse pour nous permettre de les étudier ? (Si oui, nous reprendrons contact avec vous pour vous expliquer la marche à suivre) *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non

51. Accepteriez-vous de nous recevoir pour une visite d'élevage en collaboration avec votre vétérinaire traitant et l'Ecole Vétérinaire de Toulouse afin de nous permettre d'effectuer quelques prélèvements de puces, de caractériser plus précisément les conditions de cette infestation, et d'éventuellement réfléchir à de nouvelles pratiques de désinfection et désinsectisation ? *

Une seule réponse possible.

- Oui
- Non

52. En réponse à l'infestation de puces, avez-vous fait quelque chose ? *

Une seule réponse possible.

- Non je n'ai rien fait *Passer à la question 71*
- Oui (plusieurs choix possibles question suivante)

Stratégie de lutte contre les puces (partie 4)

53. En réponse à l'infestation de puces, qu'avez vous fait (plusieurs réponses possibles) ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Curage de fumier supplémentaire par rapport à la fréquence habituelle
- Renouvellement du stock de paille/litière
- Désinsectisation des bâtiments/habitations
- Appel à une entreprise spécialisée
- Autre : _____

54. Si vous avez effectué une désinsectisation des bâtiments/habitations, quel produit avez-vous utilisé, et à quelle date (Produit - JJ/MM/AAAA) ?

55. Si vous avez fait appel à une entreprise spécialisée, quel est son nom et quand est-elle intervenue (Entreprise - JJ/MM/AAAA) ?

56. Avez-vous noté ensuite une amélioration de la situation quant à la gravité de l'infestation de puces ? *

Une seule réponse possible.

- Oui, mais je ne me suis pas débarrassé complètement
Passer à la question 71
- Non, aucune amélioration *Passer à la question 71*

Elevage touché par les puces dans le passé (partie 3)

57. Quand avez-vous été touché la première fois par les infestations de puces ? *

Une seule réponse possible.

- En 2021
 En 2020
 En 2019
 En 2018
 En 2017
 En 2016
 En 2015
 En 2014
 En 2013
 En 2012
 En 2011
 Avant 2011

58. En quelle année vous êtes vous débarrassé des puces (ie première année ou vous n'avez plus eu de problèmes vis à vis des puces) ? *

Une seule réponse possible.

- En 2021
 En 2020
 En 2019
 En 2018
 En 2017
 En 2016
 En 2015
 En 2014
 En 2013
 En 2012
 En 2011
 Avant 2011

59. Sur une échelle de 1 à 10 à combien estimez vous le désagrément causé par votre infestation passée ? *

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Très peu dérangeant	<input type="radio"/>	Très dérangeant									

60. Sur une échelle de 1 à 10 à combien estimeriez-vous la motivation que vous aviez à vouloir vous en débarrasser ? *

Une seule réponse possible.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Pas motivé du tout	<input type="radio"/>	Très motivé									

61. Ces puces ont-elles été retrouvées (plusieurs réponses possibles) : *

Plusieurs réponses possibles.

- Sur les animaux de production (ovins/caprins)
- Sur les animaux domestiques (chiens/chats)
- Dans la litière
- Dans votre foyer
- Dans les vêtements
- Directement sur vous ou vos proches
- Autre : _____

62. A quelle période de l'année étiez-vous le plus touché par les infestations de puces (plusieurs réponses possibles) ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Janvier
- Février
- Mars
- Avril
- Mai
- Juin
- Juillet
- Août
- Septembre
- Octobre
- Novembre
- Décembre

63. Aviez-vous observé des répercussions sur vos animaux (ovins/caprins) ? : *

Plusieurs réponses possibles.

- Non, aucune répercussion
- Léchage
- Frottements aux barrières ou aux murs
- Dépilations (zones sans poils)
- Rougeurs sans saignement
- Plaies avec saignements et/ou croûtes
- Autre : _____

64. Quels animaux avaient été les plus touchés ? *

Une seule réponse possible.

- Aucun
- Les jeunes en majorité (agneaux/chevreaux)
- Les adultes en majorité
- Les deux sans distinction

65. Aviez-vous observé des répercussions sur vous ou vos proches ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Non, aucune répercussion
- Déménagements
- Rougeurs sans saignements
- Plaies, avec saignements et croûtes
- Autre : _____

66. Quels individus avaient été les plus touchés ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Aucun
- Surtout les enfants
- Surtout les femmes
- Surtout les hommes
- Tout le monde sans distinction
- Autre : _____

67. Selon vous, quelle avait pu être l'origine de l'infestation de puces (plusieurs réponses possibles) ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Je n'ai aucune idée d'où à pu venir l'infestation de puces
- J'ai acheté des animaux possiblement infestés de puces
- J'ai eu la visite d'éleveurs ou d'employés travaillant dans d'autres élevages qui étaient possiblement infestés de puces
- J'ai échangé du matériel avec d'autres éleveurs dont l'élevage est possiblement infesté de puces
- J'ai acheté de la paille ou du foin provenant d'autres élevages possiblement infesté de puces
- Autre : _____

68. Vous vous êtes débarrassé de l'infestation de puces, qu'avez-vous fait pour en venir à bout ? *

Plusieurs réponses possibles.

- Seulement un curage du fumier
- Renouvellement du stock de paille/litière
- Désinsectisation des bâtiments/habitations
- Appel à une entreprise spécialisée
- Autre : _____

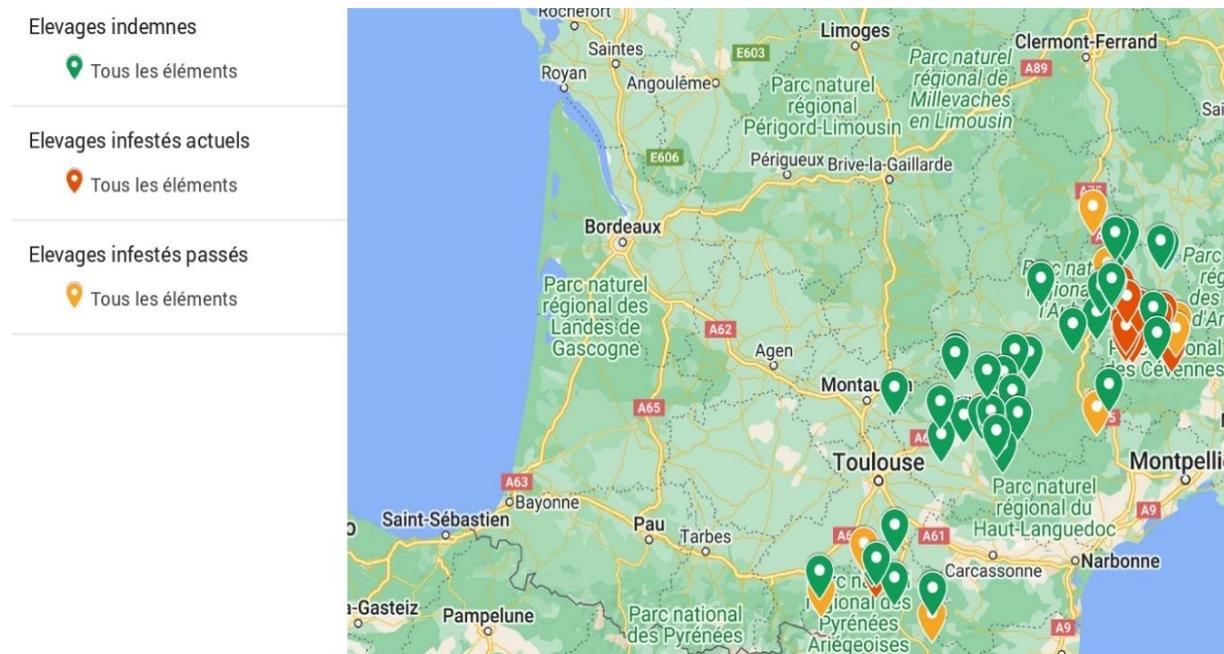
69. Si vous avez effectué une désinsectisation des bâtiments/habitations, quel produit avez-vous utilisé, et à quelle date (Produit - JJ/MM/AAAA) ?

70. Si vous avez fait appel à une entreprise spécialisée, quel est son nom et quand est-elle intervenue (Entreprise - JJ/MM/AAAA) ?

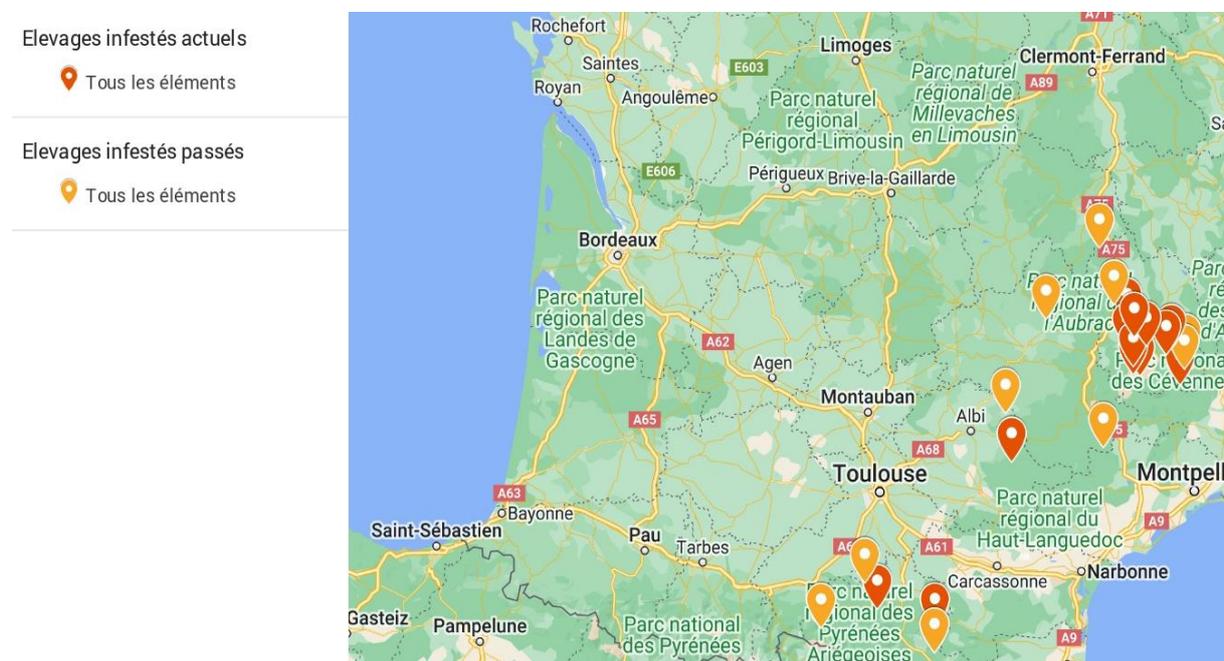
Fin

71. Autres remarques ou éléments à nous signaler :

Annexe 2-A : Capture d'écran du logiciel Mymaps de Google Maps® - ensemble des élevages inclus dans l'étude



Annexe 2-B : Capture d'écran du logiciel Mymaps de Google Maps® - élevages actuellement infestés et infestés par le passé



Annexe 3 : Fiche d'aide au calcul d'une distance entre deux points à partir de leurs coordonnées GPS



Comment obtenir la distance entre deux points connus en longitude et latitude sur la sphère ?

Les logiciels Circé

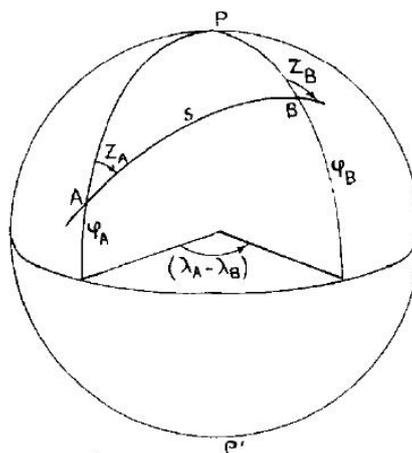
La géodésique est la trajectoire correspondant à la **distance minimale entre deux points** sur une surface. Dans le cas de la sphère, c'est **un arc de grand cercle**.

Connaissant la position de deux points A et B sur une sphère, calculer la distance entre eux revient donc à calculer l'abscisse curviligne S (AB) sur le grand cercle passant par A et B.

Si l'on considère deux points A et B sur la sphère, de latitudes φ_A et φ_B et de longitudes λ_A et λ_B , alors la **distance angulaire en radians** S_{A-B} entre A et B est donnée par la relation fondamentale de trigonométrie sphérique, utilisant $d\lambda = \lambda_B - \lambda_A$:

$$S_{A-B} = \arccos(\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos d\lambda)$$

La distance S en mètres, s'obtient en multipliant S_{A-B} par un rayon de la Terre conventionnel (6 378 137 mètres par exemple).



Pour davantage de précision, il est possible de calculer un **rayon de courbure local** :

Le rayon de la sphère qui se rapproche au mieux de l'ellipsoïde de demi grand axe a et d'excentricité e en un point de latitude φ est donné par la racine carrée du produit de ρ et N (rayons de courbure principaux de l'ellipsoïde de révolution, respectivement dans la direction du méridien et dans la direction du parallèle), tels que :

$$\rho = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{(1 - e^2 \cdot \sin^2(\varphi))^{\frac{3}{2}}} \quad \text{et} \quad N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2(\varphi)}}$$

On obtient ainsi une sphère dont la courbure totale est égale **localement** à celle de l'ellipsoïde.

Exemples

Soient deux points A et B :

$$\lambda_A = 0^\circ$$

$$\varphi_A = 45^\circ$$

$$\lambda_B = 1^\circ 50' 03.156468''$$

$$\varphi_B = 46^\circ 15' 28.463641''$$

La distance entre A et B calculée **sur l'ellipsoïde IAG-GRS80** est

$$S = 200 \text{ km}$$

Le calcul de la distance **sur la sphère de Picard** (rayon 6371598m) est

$$S = 199,7744550 \text{ km}$$

Le calcul de la distance **sur la sphère IAG-GRS80** (rayon 6378137m) est

$$S = 199,979.4782 \text{ km}$$

Soient deux points A et B :

$$\lambda_A = -5^\circ$$

$$\varphi_A = 40^\circ$$

$$\lambda_B = -3^\circ 18' 44.877103''$$

$$\varphi_B = 41^\circ 15' 40.924579''$$

La distance entre A et B calculée **sur l'ellipsoïde IAG-GRS80** est

$$S = 200 \text{ km}$$

Le calcul de la distance **sur la sphère de Picard** est

$$S = 199,8914187 \text{ km}$$

Le calcul de la distance **sur la sphère IAG-GRS80** (rayon 6378137m) est

$$S = 200,0965619 \text{ km}$$

Au sens **global**, une bonne sphère approchée de l'ellipsoïde de révolution, de demi grand axe a et de demi petit axe b , peut être prise avec un rayon égal à $(2a+b)/3$.

Auteurs : GOYARD Célestine, LAMBERT Matthias

TITRE : Infestations par *Pulex irritans* dans les élevages de petits ruminants du Sud-Ouest de la France : épidémiologie et recherche d'agents pathogènes zoonotiques.

RÉSUMÉ : *Pulex irritans* est une espèce de puce dont la biologie reste encore méconnue. Elle infeste surtout les carnivores sauvages, mais aussi les petits ruminants et l'Homme. Elle peut alors être à l'origine de stress intense et d'exclusion sociale. D'importantes infestations en élevages ovins et caprins ont récemment été rapportées dans le Sud-Ouest de la France. Ainsi, cette étude a eu pour objectifs de (i) réaliser une analyse descriptive de ces infestations, grâce à un questionnaire proposé aux éleveurs de quatre départements du Sud-Ouest, de (ii) confirmer la présence de *P. irritans* dans les élevages touchés et de (iii) rechercher par biologie moléculaire la présence de l'ADN de bactéries zoonotiques du genre *Bartonella* au sein des puces collectées. Au total, 63 élevages ont été inclus dans l'étude, dont 13 actuellement infestés et 10 l'ayant été par le passé. L'espèce *Pulex irritans* a été confirmée pour la totalité des échantillons. Cette étude inédite confirme l'importance de ce problème de santé publique, pourtant négligé en élevage, et souligne la difficulté de sa gestion.

MOTS-CLÉS : puces, *Pulex irritans*, petits ruminants, élevage, ovins, caprins, prévalence, vecteur, *Bartonella* spp., zoonoses, questionnaire.

TITLE : Infestations of small ruminants with *Pulex irritans* in South West of France : epidemiology and zoonotic pathogen research.

ABSTRACT :

The biology of the flea *Pulex irritans*, is poorly known. This species infests mainly wild carnivores but also small ruminants and humans, in which infestations can induce intense stress and social exclusion. Massive infestations have been recently reported in sheep and goat farms from the South-West part of France. The main objectives of the study were to (i) perform a questionnaire-based descriptive analysis of these infestations, (ii) confirm the presence of *P. irritans* in infested farms and (iii) assess the presence of DNA of zoonotic *Bartonella* species in collected fleas. A total of 63 farms were included in the study: 13 farms experienced on-going flea infestations while 10 reported previous infestations. The species *P. irritans* was confirmed in 100 % of the samples. This original study confirmed the significance of this neglected public health issue and highlighted the difficulties of its control.

KEYWORDS : fleas, *Pulex irritans*, small ruminants, farm, sheep, goats, prevalence, vector, *Bartonella* spp, zoonosis, questionnaire.