



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
جامعة باجي مختار - عنابة
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

THESE EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME
DE DOCTORAT TROISIEME CYCLE L.M.D

Option : ECOLOGIE ANIMALE

Intitulé

Caractérisation et dynamique des peuplements de puces
de la faune sauvage et domestique : impact sur la santé

Presenté par : Mr. MADOUI Bachir El Mouaz

Membre de Jury:

Mr. Bairi Abdel Majid	Professeur	Président	Universié de Annaba
Mme. Bouslama Zihad	Professeur	Directrice de thèse	Universié de Annaba
Mr. Bensouileh Mourad	Professeur	Examineur	Universié de Annaba
Mr. Bouattour Ali	Professeur	Examineur	Institut Pasteur Tunis
Mme. Tadjine Aïcha	Professeur	Examineur	Universié de El Taref
Mr. Mechakra Salah	Professeur	Examineur	Universié de Sétif

Année universitaire: 2013/2014

Remerciements

Avant d'exposer le résultat de ce travail, il est nécessaire d'exprimer, avec plaisir, ma reconnaissance et mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail de thèse ou qui m'ont fait l'honneur de le juger.

- A DIEU tout puissant pour la volonté, la santé et patience qu'il nous a données durant toutes ces années d'étude.

Tout d'abord, merci à l'ensemble des membres de mon jury, Pr. BAIRI ABDEL MAJID, Pr. BENSOUILEH MOURAD, Pr. BOUATTOUR ALI, Pr. TADJINE AICHA et Pr. MECHAKRA SALAH d'avoir accepté de juger ce travail.

- Ma profonde gratitude et mes sincères remerciements vont particulièrement à l'inspirateur de ce travail, Pr. BOUSLAMA ZIHAD, professeur au département de Biologie – université de Annaba, elle a toujours bien veillé à ce que ce travail aboutisse et elle m'a toujours encouragé pour aller plus loin dans mon travail. Merci de m'avoir toujours accordé votre temps, de m'avoir prêté votre oreille, de m'avoir soutenu, guidé et aidé pendant ces huit années d'études et surtout d'avoir été très patiente (entre mes étourderies et mes idées saugrenues...).

Merci également à Pr. BENYACOUB SLIM, professeur à l'université Badji Mokhtar Annaba responsable de la formation doctorale à laquelle je suis inscrit, ce travail est en partie le vôtre, merci pour tout ce que vous avez pu et su nous donner de la licence jusqu'au Master, on appliquera toujours vos directives et consignes.

Merci à mes parents, sans vous tout cela n'aurait pu être possible, merci pour votre patience, votre confiance, votre dévouement et votre amour, Je vous aime beaucoup.

- A ma femme IMENE, soleil de ma vie, qui ma donner le plus beau cadeau de ma vie, mon fils MOSTAFA AMINE.

- Merci à toute ma famille, ma sœur SALSABILA, mes oncles et tantes, mes cousins et cousines, mon beau-père, ma belle-mère, mes beaux-frères et belles-sœurs.

- Mes reconnaissances et remerciements vont également à l'équipe du laboratoire d'entomologie de l'institut pasteur Tunis en Tunisie en particulier : Mr BOUATTOUR ALI

professeur à IPT, pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire, Mme KHROUF FATMA pour son aide tant matériel que pour l'atmosphère agréable au cours de la période de mon stage à l'IPT et SOUAD de m'avoir aidé dans la réalisation de l'identification et la détection des agents pathogènes des puces, j'ai passé des moments inoubliables durant mon stage à l'IPT.

- Merci aussi à tous mes collègues et amis du laboratoire d'écologie des systèmes terrestres et aquatiques qui ont su « chauffer » l'ambiance et que j'ai eu la chance de côtoyer, vous êtes ma deuxième famille. Si l'on devait résumer ces huit dernières années à ECOSTAQ, il n'y aurait qu'une seule phrase à dire : « C'est du Bonheur !!! »

Merci aux nombreuses personnes dont les noms m'échappent à l'heure, tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail, qu'ils trouvent ici ma haute considération.

Aux absents...

Vous me manquez....

« La vraie richesse d'un homme en ce monde
se mesure au bien qu'il a fait autour de lui »

Prophète Mohamed

Résumé :

Les parasites sont étudiés depuis très longtemps, la plupart des connaissances concernent des parasites présentant un intérêt écologique, médical ou vétérinaire. Ainsi, malgré leur omniprésence au sein du monde vivant, le rôle des infections parasitaires sur les populations naturelles est encore très mal maîtrisé.

Nous avons choisis d'étudier un groupe de parasites (les puces ou siphonaptères) au sein de la faune sauvage et domestique dans notre région. Les puces sont des insectes hématophages impliqués dans la transmission de nombreux agents, bactériens, viraux, et protozoaires, pathogènes pour l'homme et l'animal. Les maladies à puces sont potentiellement émergentes dans la plupart des pays du monde. Or, la première étape pour évaluer le risque de contracter une maladie à transmission vectorielle dans une région donnée est de connaître la prévalence de l'agent responsable dans son vecteur dans cette zone. Dans ce contexte, les techniques moléculaires de détection de l'ADN des agents pathogènes constituent des outils rapides et sensibles.

Notre étude s'est déroulée durant une période de deux années entre janvier 2010 et décembre 2011, au Nord-est Algérien, dans la région d'Annaba. Les puces sont prélevées, conservées dans l'alcool 70° et acheminées au laboratoire d'entomologie de l'Institut Pasteur à Tunis (Tunisie) pour l'identification des espèces et la détection des agents pathogènes par méthodes moléculaires (PCR).

L'objectif de cette étude est d'une part, étudier la caractérisation et la dynamique des peuplements de puces parasitant la faune sauvage et domestique de la région et d'autre part détecter les différents agents pathogènes présent dans les puces afin d'évaluer le risque de transmission de ces agents en employant des techniques de biologie moléculaire (Extraction d'ADN, PCR, Séquençage).

Nous avons tout d'abord mis au point une technique d'extraction d'ADN à partir des échantillons de puces. Nous avons ensuite essayé la détection de *Bartonella spp* et *Rickettsia spp* dans les puces par prolifération d'ADN et séquençage.

Mots clés: puces, siphonaptères, parasite, agents pathogènes, *Bartonella spp*, *Rickettsia spp*.

Abstract :

Parasites have been studied for a long time, most of the knowledge concerning parasites of ecological interest, medical or veterinarian. Thus, despite their ubiquity in the living world, the role of parasitic infections in natural populations is still poorly controlled.

We chose to study a group of parasites (fleas) in wild and domestic animals in our region. Fleas are blood-sucking insects involved in the transmission of many agents, bacterial, viral, and protozoan pathogens for humans and animals. Diseases chips are potentially emerging in most countries of the world. However, the first step in assessing the risk of a vector-borne disease in a given area is to determine the prevalence of the causative agent in its vector in this area. In this context, molecular detection techniques pathogen DNA are rapid and sensitive tools.

Our study was conducted during a two-year period between January 2010 and December 2011, the North-eastern of Algeria, in the region of Annaba. The fleas are collected, preserved in alcohol 70 ° and transported to the laboratory of entomology at the Pasteur Institute in Tunis (Tunisia) for species identification and detection of pathogenic agents by molecular methods (PCR).

The objective of this study is on the one hand , to study the characterization and population dynamics of fleas parasitizing wild and domestic fauna of the region and also detect different pathogens present in the fleas to evaluate the risk of transmission of these agents by using molecular biology techniques (DNA extraction , PCR, sequencing) .

We firstly developed a DNA extraction technique from chip samples. We then tried the detection of *Bartonella spp* and *Rickettsia spp* in chips and proliferation by DNA sequencing.

Key words: Fleas, siphonaptera, parasite, pathogenic agents, PCR, *Bartonella spp*, *Rickettsia spp*.

SOMMAIRE

Remerciements	1
Résumé	3
INTRODUCTION GENERALE	8

I. CHAPITRE I

I. 1. Présentation de l'ordre	15
I. 2. Systématique	15
I.3. Origine et phylogénie des puces	17
I. 4. Caractères généraux	17
I. 5. Biologie de la puce	20
I. 6. Pathologies transmises à l'homme et aux animaux :	31
I. 7. Spécificité parasitaire	44
I. 8. Anatomie de la puce	46

II. CHAPITRE II

II. 1. INTRODUCTION	68
II. 2. MATERIELS ET METHODES	70
II. 2. 1. Description de la zone d'étude	70
II. 2. 2. Descriptions du site forestier étudié	71
II. 2. 3. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude	72
II. 2. 4. Description des modèles biologiques	74
II. 2. 5. Diagnose du sexe	74
II. 2. 6. Échantillonnage, protocole et prélèvements	75
II. 2. 7. Influence des facteurs écologiques sur les puces	76
II. 2. 8. Identification des puces	77
II. 2. 9. Méthode d'exploitation des résultats par des indices écologiques	78
II. 3. RESULTATS et DISCUSSION	81
II. 3. 1. Etude des Peuplements de puces du chat	81
II. 3. 2. Etude des peuplements de puces du chien	86
II. 3. 3. Etude des Peuplements de puces du rat	91
II. 3. 4. Etude des peuplements de puces du hérisson	97
II. 3. 5. Résultat général	103

II. 3. 5. 1. Effort d'échantillonnage	103
II. 3. 5. 2. Description des espèces trouvées	105
II. 3. 5. 3. Analyse climatique	106
II. 3. 5. 4. Etude de la dynamique d'appartition des puces	107
II. 3. 5. 5. Répartition des puces en fonction des hôtes parasités.....	108
II. 3. 5. 6. Répartition des puces en fonction des espèces	109
II. 3. 5. 7. Répartition temporelle des puces (toute espèce hôte confondue).....	110
II. 3. 5. 8. Analyse des indices parasitaires	111
II. 3. 5. 9. Le sex-ratio	113
II. 3. 5. 10. Le sex-ratio par espèces.....	114
II. 3. 5. 11. Influence des conditions climatiques sur l'apparition des puces.....	115
II. 4. DISCUSSION.....	118

III. CHAPITRE III

III. 1. INTRODUCTION.....	120
III. 2. MATERIELS ET METHODES.....	124
III. 2. 1. Généralités sur les vecteurs	124
III. 2. 2. Détection des agents pathogènes.....	127
III. 2. 3. Migration et révélation des produits PCR amplifiés	131
III. 2. 4. Séquençage.....	132
III. 3. RESULTATS	133
III. 3. 1. Extraction d'ADN et contrôle de l'extraction.....	133
III. 3. 2. Amplification par PCR spécifique de l'ADN des bactéries pathogènes.....	134
III. 3. 3. Détection d'ADN d'agents pathogènes.....	135
III. 3. 3. 1. Détection des échantillons potentiellement porteurs <i>de Bartonella spp</i>	135
III. 3. 3. 2. Détection des échantillons potentiellement porteurs <i>de Rickettsia spp</i>	136
III. 3. 4. Analyse du taux de portage	137
III. 4. DISCUSSION	138
IV. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	140
V. Références bibliographiques	144
VI. Annexes.....	158

ARTICLES

Liste des annexes

Annexe 1 : Carte géographique de Annaba. Les sites de récolte des puces sont montrés par les flèches en rouge.

Annexe 2 : Figures des différentes espèces de puces trouvées dans notre étude.

Annexe 3 : Tableau montrant la dynamique d'apparition des différentes espèces de puces durant la période Janvier – Décembre 2010.

Annexe 4 : Tableau montrant la dynamique d'apparition des différentes espèces de puces durant la période Janvier – Décembre 2011.

Annexe 5 : Glossaire des termes utilisés en Taxonomie et morphologie(Beaucournu & Launay (1990)).

Annexe 6 : Protocol d'extraction d'ADN à partir des puces.

Annexe 7 : Préparation du Gel d'agarose.

Annexe 8 : Amplification du gène de la citrate synthase du genre *Rickettsia*.

Annexe 9 : Amplification du gène de la citrate synthase du genre *Bartonella*.

Liste des articles

Articles I

Bachir El Mouaz Madoui, Feriel Sakraoui, Moussa Houhamdi & Zihad Bouslama. *Faunistic Entomology* 2014 ; **67**, 3-13. « Caractérisation et dynamique des peuplements de puces de la faune sauvage et domestique : impact sur la santé ».

Article II

Bachir El Mouaz Madoui, Ali Bouattour and Et Zihad Bouslama. *European Journal of Scientific Research* 2014 ; **118-2**, 163-171. « Inventaire des différentes Espèces de Puces du Chat Présentes dans le Nord-est D'Algérie (Région D'Annaba) ».

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'origine de la vie terrestre remontrait à quatre milliards d'années dans le milieu liquide. Si la conquête du milieu terrestre a été très longue, il est en revanche probable que dès le tout début, des êtres vivants ont été capables de se développer au sein d'un autre milieu nouvellement créé : les êtres vivants eux-mêmes (Combes, 1995). Le mode de vie parasitaire venait ainsi d'apparaître. Son « succès » n'allait jamais se démentir. On estime aujourd'hui que la moitié des organismes vivants sont des parasites (Price, 1980). D'après Morel (1974), le parasitisme est le plus commun des modes de vie sur cette planète, impliquant des représentants des principaux taxons, depuis les plus simples organismes unicellulaires à des vertébrés complexes. Chaque espèce est potentiellement victime de plusieurs parasites; en conséquence, le nombre d'espèces parasites excède grandement le nombre d'espèces « autonomes ».

Le parasitisme est donc omniprésent dans le monde vivant et c'est l'individu non parasité qui est l'exception. Ainsi, le maintien d'individus exempts de pathogènes nécessite un effort considérable (Euzet, 1989). Cette omniprésence des parasites justifie à elle seule l'étude de leurs effets sur les systèmes naturels.

Aujourd'hui, l'écologie parasitaire est une discipline en plein développement, notamment en raison de la prise en considération, par les écologues, du rôle potentiel des parasites dans les processus de régulation des populations hôtes, et de leur impact sur l'équilibre et le fonctionnement des écosystèmes. Aussi l'écologie cherche à connaître les conditions d'existence des organismes par rapport à leur milieu physique et biotique. D'une part elle étudie les exigences des organismes envers le milieu et leurs adaptations à celui-ci; d'autre part, elle recherche comment le milieu influe sur les organismes. Or, puisque chaque être vivant fait partie du milieu des autres et que sa présence et son activité modifient le milieu physique et biotique pour lui-même comme pour les autres, l'écologie est amenée à considérer en général les interactions entre les facteurs constitués par les organismes ainsi que par les agents inorganiques (Gisin 1949).

Gardner et Campbell (1992) affirment que la collecte de mammifères hôtes-définitifs, ou même intermédiaires, infestés ou infectés par des parasites, "apporte beaucoup plus d'informations sur les associations écologiques contemporaines que si les hôtes étaient considérés sans égard à la faune parasitaire". Les parasites sont donc des composants omniprésents de la biologie des hôtes et doivent être échantillonnés pour former un cadre plus

complet de relations interspécifiques et des autres aspects de leurs histoires naturelles, tant des hôtes que des parasites eux-mêmes. L'association plus ou moins étroite entre le parasite et son hôte, induisant des contraintes évolutives importantes, offre un vaste terrain pour l'étude des phénomènes adaptatifs. La conjonction de particularités intrinsèques de l'hôte comme du parasite et des caractéristiques écologiques de l'hôte (habitat, habitudes) et du parasite permet à ce système d'exploitation de durer. Ainsi Morand et Sorci (1988) ont-ils démontré, en comparant des nématodes parasites avec des nématodes libres, que dans la plupart des cas pour les parasites, l'évolution des traits d'histoire de vie est directement dépendante de caractéristiques de l'hôte.

Les ectoparasites en particulier offrent une diversité dans le degré d'association avec l'hôte tout à fait remarquable (spécificité d'hôte, relations avec environnement de l'hôte). Certains sont aussi intimement liés à leur hôte que la plupart des endoparasites, montrant un haut niveau de spécialisation (ex. les poux mallophages parasitant des rongeurs du genre *Geomys* ; Page et Hafner 1996). D'autres, moins spécifiques, manifestent des liens un peu plus lâches (ex. les puces du genre *Pulex*, parasitant des mammifères aussi divers que l'homme, le renard, le blaireau, le hérisson...). Les degrés de spécificité sont variables entre groupes de haut niveau taxinomique, mais aussi parfois entre espèces proches (Desdevises et al. 2002, Price et al. 2003).

Les habitudes et traits d'histoire de vie sont ainsi très divers parmi les ectoparasites, certains accomplissant toutes les étapes de leur développement directement sur l'hôte, d'autres passant certains de leurs stades sur l'hôte, les autres dans l'environnement. Les poux mallophages, ectoparasites d'oiseaux ou de mammifères, les trématodes monogènes, ectoparasites de poissons, sont des exemples d'ectoparasites au développement complet sur l'hôte. Chez la plupart des puces (Siphonaptera : Pulicidae, Ceratophyllidae), en revanche, le stade adulte demeure sur l'hôte, mais les œufs sont généralement pondus dans le milieu extérieur où les larves et nymphes se développent ensuite. Les femelles adultes des puces chiques (Siphonaptera : Tungidae) pondent directement sur l'hôte, mais les œufs tombent au sol.

Chez certains arthropodes hématophages, des liens très lâches avec l'hôte et des habitudes alimentaires non strictement parasites tout au long du cycle de vie les rendent difficilement qualifiables de parasites. Chez les moustiques, par exemple, les femelles adultes sont hématophages, tandis que les mâles et les stades juvéniles ont des habitudes complètement différentes (se nourrissant respectivement de nectar et autres liquides sucrés, et de

microorganismes aquatiques). Ces femelles adultes sont des microprédateurs, prédateurs qui ne prélèvent qu'une petite portion de tissu de leur hôte. Les arthropodes hématophages pourraient ainsi être classés soit parmi les ectoparasites typiques, soit parmi les microprédateurs.

Une telle distinction doit-elle être associée à la constance de leur statut de consommateur tout au long leur vie (hématophage/non hématophage) ou à la proportion de leur cycle passée directement sur l'hôte ? Quoi qu'il en soit, comme chaque fois que l'on cherche à classer quelque chose dans des catégories, des cas limites viennent brouiller les frontières. Les puces, dont les œufs, larves et nymphes se développent dans l'environnement, évoquent fortement des 16 microprédateurs, mais elles demeurent sur l'hôte au stade adulte. Les punaises de lit tendraient à être classées parmi les microprédateurs, car elles ne requièrent pas plus de temps que les femelles de moustique pour prélever leur repas de sang, et, elles aussi, quittent leur hôte immédiatement après, mais tous leurs stades sont hématophages. Et il en est de même pour les dermanysses ou poux rouges des poules (Acari : Mesostigmata : Dermanyssus), ainsi que pour les tiques molles (Acari : Ixodida : Argasidae). Ectoparasites typiques ou microprédateurs ?

Une réflexion quant à ces catégories présente un intérêt non négligeable pour l'interprétation écologique des histoires évolutives d'ectoparasites. Mais plutôt qu'à une durée de contact, donnée continue et pas trop relative, Kuris et Lafferty (2000) attribuent une importance au nombre d'individus hôtes parasités/prédatés par stade chez le parasite. En effet, dans le cadre d'une réflexion quant aux catégories de consommateurs en général, ils mettent en avant la corrélation entre le degré d'association avec l'hôte et l'attachement de l'individu parasite à l'individu hôte. Cet attachement à l'individu hôte/proie est en quelque sorte inversement proportionnel au nombre d'individus ponctionnés par un seul parasite à un stade donné. Les femelles adultes du moustique, par exemple, peuvent piquer plusieurs individus hôtes différents, et ne demeurent pas attachées à un seul. Cela les rapproche des prédateurs, qui se nourrissent successivement de différentes proies. Si l'on compare des arthropodes hématophages, les microprédateurs sont par excellence plus indépendants que les ectoparasites typiques vis-à-vis de leur hôte et beaucoup plus impliqués dans les environnements extérieurs à l'hôte.

L'adaptation d'un microorganisme à l'hôte se fait à deux niveaux, d'une part au niveau cellulaire: adaptation à un type de cellule de l'hôte, d'autre part au niveau comportemental de

l'individu. Ce dernier point, en effet, est capital puisqu'il répond à l'une des nécessités les plus importantes du parasite: celle de sa transmission au sein des populations sensibles. Ainsi dans le cas des consommateurs primaires (insectes et acariens par exemple), les populations denses et le grégarisme favorisent les contacts entre individus et permettent ainsi l'existence de maladies épidémiques au développement extrêmement rapide (Morel 1974). Ces maladies sont un des problèmes majeurs de santé publique à travers le monde. Le changement climatique est souvent incriminé dans cette résurgence. Néanmoins, l'interaction entre les systèmes vectoriels et leur environnement est complexe (Rodhain, 2004) et, à de rares exceptions, il n'y a pas d'exemple de maladies vectorielles dont on peut attribuer la résurgence à une augmentation de la température (Rogers et Randolph 2000 ; Reiter 2001 ; Rodhain, 2004 ; Reiter et *al.*, 2004). Dans certains cas, l'arrêt des programmes de lutte (instabilité politique ou redistribution des financements) peut anéantir rapidement des années d'efforts (de La Rocque et *al.* 2001 ; Glaser 2001). Mais ce sont sans doute les changements démographiques et sociaux actuels qui sont les principaux responsables de la résurgence des maladies infectieuses en général et vectorielles en particulier (Gubler 2002 ; Rodhain 2004).

L'espèce humaine est considérée, dès le début du siècle dernier, comme une force géologique (Rajendran, 2008). En effet, elle est capable de modifier radicalement l'environnement et les écosystèmes de la planète pour sa quête de ressources, pour alimenter ses besoins agricoles, industriels, commerciaux et d'espaces (urbanisation, récréation) (Vitousek et al, 1997). Les modifications portent sur la composition chimique des océans (Dyrssen, 1972) et de l'atmosphère (Akimoto, 2006), l'appropriation de l'eau douce (Jackson et al, 2001), et les transformations des paysages marqués par l'urbanisation et l'agriculture (Lambin et al, 2001). Toutes ces modifications s'imbriquent directement ou indirectement. Elles causent aussi inexorablement la perte de la diversité biologique (Vitousek et al, 1997), et catalysent l'émergence de problèmes liés à la santé humaine et à la santé des organismes sauvages (Patz et al, 2004).

De récentes études montrent que la fragmentation des habitats peut provoquer l'émergence et la réémergence de plusieurs maladies, du fait notamment des processus de changements d'hôtes par les parasites et aussi par l'extension des aires de distribution des vecteurs à des habitats nouveaux ou modifiés (Patz et al, 2004). Ces problèmes sont aggravés dans les milieux urbains (Bradley et Altizer, 2006), périurbains et dans les villages ruraux reculés, où les relations hôtes-parasites peuvent être accentuées par la proximité entre l'homme, les animaux domestiques et sauvages, dont les micromammifères représentent une part

importante (Allan et al, 2003). Cette interface domestique/sylvestre dans quelques milieux fragmentés rétroalimente des cycles de transmission complexes et de relations hôtes-parasites encore peu étudiés.

Pour les écosystèmes terrestres, les différents usages du paysage affectent de manière importante la biodiversité (Sala et al, 2000). Les effets les plus évidents sont ceux liés au développement agricole qui consomme les milieux naturels et détruit les habitats d'un grand nombre d'espèces animales et végétales. L'urbanisation est étroitement liée aux effets de l'agriculture puisque ce sont les sociétés urbaines qui consomment 70% des ressources (TEEB, 2010), la généralisation des échanges (Déplacements rapides d'hôtes et de vecteurs) (Rodhain 2003). De plus l'empreinte écologique des villes s'étend bien au-delà de leurs limites spatiales (Rees et Wackernagel, 1996) et la dégradation ou la disparition des structures de recherche ou de lutte dans le domaine des maladies vectorielles rend difficile la réaction à ces nouveaux défis (Hubalek 2000 ; Glaser 2001 ; Cuisance et Rioux 2004).

De nombreuses maladies infectieuses sont transmises à l'homme par des arthropodes notamment des puces vecteurs à partir d'animaux sauvages ou domestiques eux-mêmes réservoirs de virus. Plusieurs de ces maladies donnent un tableau clinique sévère de type typhus murin ou même la peste. Les virus responsables infectent souvent de façon asymptomatique les animaux réservoirs. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude sur les puces des animaux sauvages et domestiques, afin de caractériser leur dynamique d'apparition et de mettre en avant leurs rôle en tant que vecteurs d'agents pathogènes, ainsi que de connaître l'importance des maladies vectorielles qui leur sont associées dans notre région.

Les puces sont des ectoparasites de mammifères et plus rarement d'oiseaux. Les adultes, mâles et femelles, sont hématophages et ont la faculté de sauter. Le parasitisme des puces est obligatoire. Cependant, si leur situation en tant qu'ectoparasite peut être permanente, elle n'est, le plus souvent, qu'occasionnelle.

On les trouve partout où vivent leurs hôtes, sur tous les continents et les principales îles du monde. On note une plus grande diversité des espèces dans les régions tempérées du globe. Quelques puces ont une distribution mondiale mais la plupart des espèces sont limitées à la distribution de leur hôte (Louise Trudel 2003).

Les puces pouvant infester l'homme appartiennent à de nombreuses familles. Parmi celles-ci, citons *Pulex irritans*, souvent appelée la puce de l'homme, *Xenopsylla cheopis*, la puce

orientale du rat , vecteur majeur de peste en zone chaude, ou encore les puces de chats et de chiens, *Ctenocephalides felis* et *C. canis*. En dehors de *P. irritans*, le parasitisme de l'homme par les puces est le plus souvent lié à des contacts avec des mammifères parasités: animaux de compagnie (chiens, chats), commensaux (rongeurs domestiques) dont l'homme partage le biotope (par exemple à l'intérieur des habitations), ou animaux sauvages à l'occasion d'activités agricoles, forestières ou de loisir. Des conditions socio-hygiéniques défavorables sont également des facteurs de risque. L'importance des puces en santé publique humaine est surtout liée à leur capacité de transmission d'agent de maladies infectieuses au cours du repas sanguin. La peste est la plus connue et la plus redoutée, mais les puces sont également associées à d'autres maladies comme le typhus murin, la rickettsiose boutonneuse à puce ou les bartonelloses comme la maladie des griffes du chat. De manière plus anecdotique, les puces sont également des hôtes intermédiaires d'helminthes : *Dipylidium caninum* ou *Hymenolepis diminuta*, respectivement parasites normaux de carnivores et de rats (Jellison, 1959). La prévalence et l'épidémiologie analytique des maladies transmises par les puces au Maghreb ne sont pas assez étudiées et les résultats sont encore très fragmentaires.

L'objectif général de la thèse a été de savoir en quoi les différents types d'habitats ont des répercussions sur la structure et la dynamique des communautés de puces parasites. Pour ce faire, la région d'Annaba dans le Nord-Est d'Algérie et ces différents contextes paysagers (urbain, périurbain et rural) ont été échantillonnées pour documenter :

- 1) Les variations de la structure de la communauté (richesse spécifique et abondance) des mammifères, en considérant les différentes caractéristiques d'habitat.
- 2) Les relations interspécifiques entre les hôtes et la communauté des siphonaphères (puces).
- 3) Les modifications éventuelles de la communauté de parasites en recherchant systématiquement les pathogènes responsables de maladies humaines et animales. Pour ce volet, les chats, Chiens, rats et hérissons ont été spécialement ciblés à cause de leur rôle comme hôtes et réservoirs reconnus de plusieurs parasites, de leurs capacités à fréquenter et prospérer dans les milieux urbains, et aussi par la facilité de capture et identification.

CHAPITRE I

I. 1. Présentation de l'ordre

Les 2237 espèces et sous espèces de puces décrites depuis 1979 appartiennent à l'ordre des Siphonaptères (anciennement Aphaniptères). Cet ordre, qui regroupe des insectes ectoparasites à l'état adulte, a une filiation phylogénique qui fut longtemps discutée, La distinction fut établie sur l'ensemble des critères suivants (Grasse, 1951).

- Absence d'ailes.
- Antennes courtes et fortes, placées dans une dépression formant une gouttière.
- Corps aplati latéralement → Progression aisée dans le pelage.
- Pattes adaptées au saut.
- Corps et pattes couverts de soies.
- Couleur de jaune à brun sombre.
- Hématophages des vertébrés Pièces buccales adaptées à la piquêre.
- Palpes labiaux et maxillaires.
- Trois segments thoraciques indépendants.
- Larves allongées, éruçi formes et apodes.
- Nymphes peu mobiles enfermées dans un cocon.

Le développement de certains organes, parallèlement à la réduction d'autres, a fait des Siphonaptères des insectes hautement spécialisés.

I. 2 Systématique

La systématique est établie sur des caractères morphologiques des adultes. Les 2 000 espèces et sous-espèces sont regroupées selon Smit (Smit, 1982) en 15 familles, dont nous ne mentionnerons que celles comprenant des espèces importantes pour les animaux domestiques et pour l'homme.

- ❖ **Les Pulicidae** : cette famille compte 180 espèces qui ont une large distribution dans le monde excepté en Antarctique ; elles parasitent principalement des rongeurs, des marsupiaux et des carnivores, plus rarement des oiseaux et des chauves-souris.

Les principales espèces d'intérêt vétérinaire sont:

- *Pulex irritans*, parasite cosmopolite de l'homme, des carnivores, du porc.

- *Ctenocephalides felis* et *C. canis*, parasites cosmopolites des carnivores essentiellement mais aussi exceptionnellement des ruminants.

- *Echidnophaga gallinacea*, parasite des volailles, parfois des mammifères.

- *Xenopsylla*, parasite des rongeurs, présent dans les régions chaudes de l'Ancien Monde.

- *Spilopsyllus cuniculi*, parasite du lapin, du lièvre

- *Synosternus*, parasite des rongeurs et des insectivores, présent en Afrique et en Asie.

❖ **Les Tungidae** : cette famille est considérée parfois comme une sous-famille des Pulicidae. Elle regroupe une vingtaine d'espèces présentes dans les régions chaudes d'Afrique, d'Asie et d'Amérique. Elles parasitent des édentés, des animaux domestiques, des rongeurs et l'homme. La principale espèce est *Tunga penetrans* (jigger ou sand-fly), également appelée « puce chique » car les femelles fécondées s'enfoncent dans le conjonctif sous-cutané dans lequel elles déterminent la formation d'un nodule qui communique avec l'extérieur par un pertuis par lequel les œufs sont éliminés. Cette espèce tropicale parasite surtout le porc et l'homme.

❖ **Les Ceratophyllidae** : cette famille compte 515 espèces, soit presque le quart du nombre d'espèces de puces. Elles sont essentiellement holarctiques (Eurasie, Amérique), mais quelques espèces sont présentes dans l'hémisphère sud et quelques autres dans l'Antarctique où cette famille est la seule représentée. Les trois quarts des espèces sont parasites d'oiseaux, les autres étant des parasites de rongeurs et plus rarement de l'homme. On peut citer notamment :

- *Ceratophyllus gallinae*, parasite des oiseaux domestiques et parfois de l'homme,

- *Nosopsyllus fasciatus*, parasite des rongeurs et de l'homme.

❖ **Les Leptopsyllidae** : cette famille compte plus de 150 espèces présentes essentiellement dans la région paléarctique et à un degré moindre en zone néarctique et afro-tropicale, parasites de rongeurs et plus rarement d'oiseaux.

La diagnose des principales espèces d'intérêt médical et vétérinaire peut être réalisée grâce à des clés simplifiées utilisables pour les grandes régions : Eurasie, Afrique, Amérique du Nord,

Amérique Centrale et Amérique du Sud (Smit, 1973), bassin méditerranéen (Beaucournu, 1973 ; Beaucournu, 1975 ; Beaucournu, 1976).

Les ouvrages de Hopkins et Rothschild (Hopkins & Rothschild, 1953 ; Hopkins & Rothschild, 1956 ; Hopkins & Rothschild, 1962 ; Hopkins & Rothschild, 1966; Hopkins & Rothschild, 1971) constituent des documents de référence en systématique. Les dénominations d'espèces retenues sont celles publiées par Pittaway (Pittaway, 1991).

I.3 Origine et phylogénie des puces

Si l'on se réfère à une définition moderne des puces, les plus anciens spécimens de fossiles conservés dans l'ambre datent de l'Eocène (40 millions d'années) ou du Miocène inférieur (20 millions d'années). Ils ont pu être rattachés au genre actuel *Palaeopsylla*. D'autres fossiles plus anciens (Crétacé inférieur, environ 100 millions d'années), aplatis latéralement et porteurs de pattes adaptées au saut ont été également rapprochés des puces. Plus récemment, plusieurs spécimens de puces ont été retrouvés dans des sites archéologiques, notamment *P. irritans* en Hollande dans un site datant de l'âge du fer ou au Groenland, dans des sites vikings (Lewis, 1998).

Sur le plan phylogénétique, les puces sont rattachées aux mécoptères et notamment aux Boreidae (en anglais : «snow fleas»), à la fois sur des arguments génétiques mais aussi morphologiques (Jellison, 1959). En fait, les rapports entre les membres de l'ordre des Siphonaptères sont parmi les moins étudiés des insectes sur le plan moléculaire (Jellison, 1959). Les études morphologiques et cladistiques sont rares et s'attachent à des groupes restreints (Whiting, 2002). Un site internet anglophone récent, dédié à la recherche scientifique sur les puces, fait notamment le point, avec l'apport des techniques de la biologie moléculaire, sur la systématique, la phylogénie, la taxonomie et l'évolution des puces.

I. 4 Caractères généraux

I. 4. 1 Pigment et coloration : Le tégument de la plupart des espèces présente une pigmentation brunâtre qui leur donne une coloration jaunâtre ou brune. Le tégument largement dépigmenté produit des colorations testacées ou rougeâtres, souvent exagérées par la présence de sang plus ou moins décomposé ou extravasé dans le corps de l'insecte par suite d'un traumatisme consécutif à la capture.

L'extension plus ou moins grande de pseudo-dessins pigmentaires est en rapport avec les conditions du milieu, humidité, lumière, température. Les variétés mélaniques ordinairement accidentelles ont pour cause des troubles provoqués dans l'épaisseur des régions cuticulaires.

Les conditions de milieu qui favorisent l'apparition du mélanisme sont inconnues. Contrairement à ce que l'on connaît chez d'autres insectes appartenant à des ordres différents, les variations d'altitude n'ont aucune influence sur la coloration du tégument.

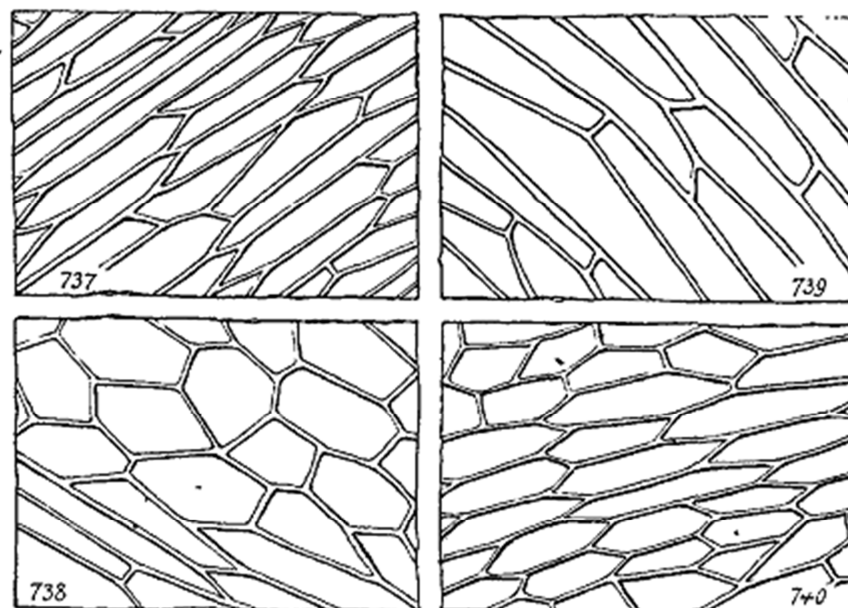


Figure 1 : 737 à 740. - Tégument des Siphonaptères vu à sec sous l'éclairage vertical. - 737. *Paraceras melis* CURT. - 738: *Nycteridopsylla eusarca* D. - 739. *Hystrichopsylla talpae* CURT. - 740. *Archaeopsylla erinacei* BOUCHÉ (orig.).

I. 4. 2. Microsculpture : Le tégument est ordinairement recouvert d'un réseau polygonal imprimé en creux. Ce réseau extrêmement fin et serré donne au tégument un aspect légèrement luisant, visible à un certain grossissement; il délimite les cellules hypodermiques, chaque polygone étant la projection d'une cellule. Les dessins ainsi constitués sont peu visibles et n'ont pas encore été utilisés pour l'identification des espèces (figure 1).

I. 4. 3. Pubescence : Le tégument des Siphonaptères adultes présente trois sortes de soies :

a) Des cils fins, formant une pubescence serrée, qui semblent plantés au hasard. Leur répartition bien définie est en rapport avec le nombre et le développement, des cellules hypodermiques.

b) Des macrochètes ou des chètes-épines en petit nombre, plantés sur toutes les régions du corps. Leur position est fixe et leur implantation donne de bonnes indications taxonomiques

(chétotaxie). Ces soies relativement rigides sont d'autant plus épaisses qu'elles sont plus longues. Elles s'articulent à la base sur une membrane soulevée en forme de cupule dans un cadre chitineux dont le diamètre est toujours notable.

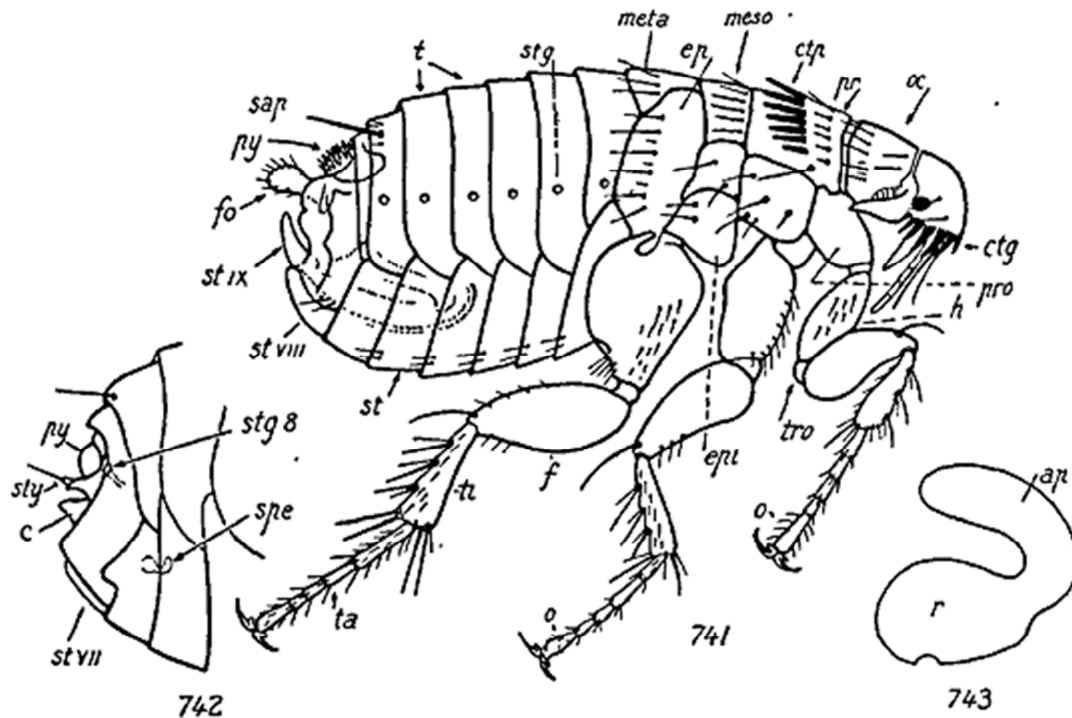


Figure 2. 741 à 743. - 741. *Ctenocephalides canis* CURT. Male (les soies abdominales ne sont pas indiquées) ; 742. Id., Femelle, extrémité de l'abdomen: 743, id., spermatothèque. - ap. appendice ; c. cerques ; ctg. Cténidie génale ; Ctp. cténidie pronotale ; ep. épimérite ; epi. épisternite ; f. fémur ; fo. Forceps ; h. hanche ; meso. mesonotum ; meta. métanolum ; o. onychium ; cc. occiput ; pr. pronotum ; pro. prosternum ; py. pygidium ; r. réservoir ; sap. soie antépygidiale ; spe. spermatothèque ; st. sternites ; st. VII, VIII, IX ; sternites VII, VIII, IX ; .stigmaté ; stg 8. stigmaté 8 ; sty. Style ; t. tergites ; ta. Tarse ; ti. Tibia ; tro. trochanter (orig.).

Des épines plus ou moins épaisses, toujours notablement plus courtes que les macrochètes, insérées comme eux sur une cupule. Ces épines, peu nombreuses, ne doivent pas être confondues avec les dents des cténidies céphaliques, thoraciques ou abdominales qui font partie de productions cuticulaires spéciales. Les dents des cténidies qui dépendent de la cuirasse chitineuse de l'insecte ne sont pas innervées comme les cils. Les macrochètes et les épines.

I. 5. Biologie de la puce

I. 5. 1. Cycle évolutif de la puce

La majorité des données actuellement disponibles sur le mode de vie des puces a été récoltée par l'étude de la « puce du chat » *Ctenocephalides felis*. Il s'agit en effet de la puce la plus répandue sur le globe, parasitant plus d'une cinquantaine d'hôtes différents. Les quelques

paragraphes qui suivent ne constituent absolument pas un ensemble de données exhaustives, mais souhaitent être assez précis pour appréhender clairement la biologie de la puce.

a) Les œufs

Blancs nacrés et de forme ovale, ils mesurent environ 506,3 µm de long et 333,2 µm de large (Cadiergues, 2000). Ne collant pas aux poils, ils se retrouvent rapidement sur le sol (70 % en moins de 8 h) (Dryden, 1994) où ils éclosent en 7 à 10 jours, en fonction de l'humidité et de la température.

A 19° C et 70% d'humidité relative (HR), le pic des éclosions est obtenu vers le 4^{ème} et 5^{ème} jour, alors qu'à 27 °C, il est obtenu au 2^{ème} et 3^{ème} jour (Cadiergues, 2000).



Figure 3 : Œufs et fèces de C. felis (Stéphane Bonneau, VIRBAC).

b) Les larves

De couleur blanche puis brune après leur premier repas, les larves fusiformes vont s'enfoncer dans les fibres des tapis ou sous les débris organiques par des mouvements de reptation. Leur phototropisme négatif et leur géotropisme positif leur permettent en effet d'atteindre des micro-habitats où leurs chances de survie sont plus importantes. Leurs refuges privilégiés sont les moquettes, les tapis ou sous les plinthes. Les larves sont le stade le plus sensible à la dessiccation, un minimum de 50 % d'humidité est nécessaire à leur développement et un niveau inférieur à 33% HR leur est létal. Le milieu extérieur ne regroupe que très rarement de telles conditions.

Se nourrissant principalement de matières fécales de puces adultes et de débris organiques (origine de la contamination par les œufs de *Dipylidium*), elles vont subir 2 mues à environ 4 jours d'intervalle.

Leurs pièces buccales de type broyeur leur permettent aussi d'avoir un comportement cannibale vis à vis des stades de développement inférieur (Cadiergues, 2000).

La pupaison débute au septième jour pour s'achever au I l'° à 24.4°C et 78% HR (Dryden, 1988).



Figure 4 : Larve de *C. felis* (Stéphane Bonneau, VIRBAC)

C) Les pupes

La larve L3 d'une longueur de 4 à 5 mm va s'accrocher en U (Rust & Dryden, 1997) à un support vertical pour tisser sur elle-même un cocon.

Le tissage est lâche et collant, ainsi de nombreux débris viennent vite camoufler le cocon. Là encore les conditions de température et d'humidité sont importantes avec 27°C et 80% HR. Les puces adultes émergent après 5 jours pour atteindre un pic d'éclosion vers 8 à 9 jours (Hudson & Prince, 1958 ; Silverman *et al.*, 1981).

Remarque : si une larve se trouve être dérangée peu de temps après la confection de son cocon, elle sort de ce dernier et en refait un ou reste en « **pupe nue** ». Le cocon n'est donc pas indispensable à un cycle complet (Dryden & Smith, 1994).

Une fois le développement terminé, la puce adulte peut rester enfermée dans son cocon. Elles sont alors en quiescence en attendant les stimuli adéquats (pression mécanique, dioxyde de carbone, chaleur).

Ce stade, s'il est préservé de la dessiccation, a la plus longue longévité avec près de 140 j (Silverman & Rust, 1983) à 11°C et 75% HR.

La durée du cycle est, comme nous l'avons vu, très dépendante de l'environnement (humidité, température, présence d'hôte, de nourriture..), elle peut varier de 12 jours à 174 jours.

La durée moyenne étant de 3 à 4 semaines dans les conditions habituelles d'une habitation. De plus, seulement 32% des 500 œufs émis par une femelle atteindront le stade adulte à 27°C et 70% HR (Cadiergues, 2000).



Figure 5 : Nympe de *C. felis* (Stéphane Bonneau, VIRBAC)

d) Les adultes

Dès sa sortie du cocon, la puce va être attirée par les mouvements, la chaleur et les exhalations de dioxyde de carbone. Elle a au contraire des larves, un phototropisme positif et un géotropisme négatif. L'ensemble de ses caractéristiques augmente la probabilité de rencontre avec l'hôte, car la survie d'une puce émergée ne dépasse guère 12 Jours. L'homme peut alors se faire piquer par ces jeunes adultes, s'il est le seul hôte qu'elles rencontrent. En effet, une puce affamée peut s'attaquer à n'importe quelle source de sang. (Georgi, 1985).

Une fois sur son hôte, la puce commence son repas dans les secondes qui suivent son arrivée. En ce qui concerne *C. felis felis* sur chat, Cadiergues a déterminé un délai moyen de 23 à 24 secondes, temps nettement plus court que pour *C. canis* sur chien avec 3 min (Cadiergues, 2000).

La durée moyenne des repas a aussi été estimée et révèle une différence significative entre les mâles et les femelles chez *C. felis felis* avec respectivement 10 min 46 s \pm 8 min 01 s et 25 min 02 s \pm 18 min 12 s (Cadiergues, 2000 ; Cadiergues *et al.*, 2000).

Les premiers accouplements débutent dès la 8^{ème} heure et la plupart des femelles ont été fécondées avant la 34^{ème} heure post-prandiale (Akin 1985 ; Dryden 1990). Un seul accouplement est suffisant, bien que les spermathèques des femelles permettent d'accueillir la semence de plusieurs mâles.

La ponte, qui débute en général dans les 36 à 48 h après le premier repas, atteint une production maximale vers 4 à 9 jours. En fonction des études, le nombre moyen d'œufs émis par jour varie de 17 à 35.

Dryden (Dryden, 1989) a ainsi montré qu'une femelle pouvait pondre en moyenne 27 œufs par jour pendant 50 jours et poursuivre ses pontes pendant plus de 100 jours.

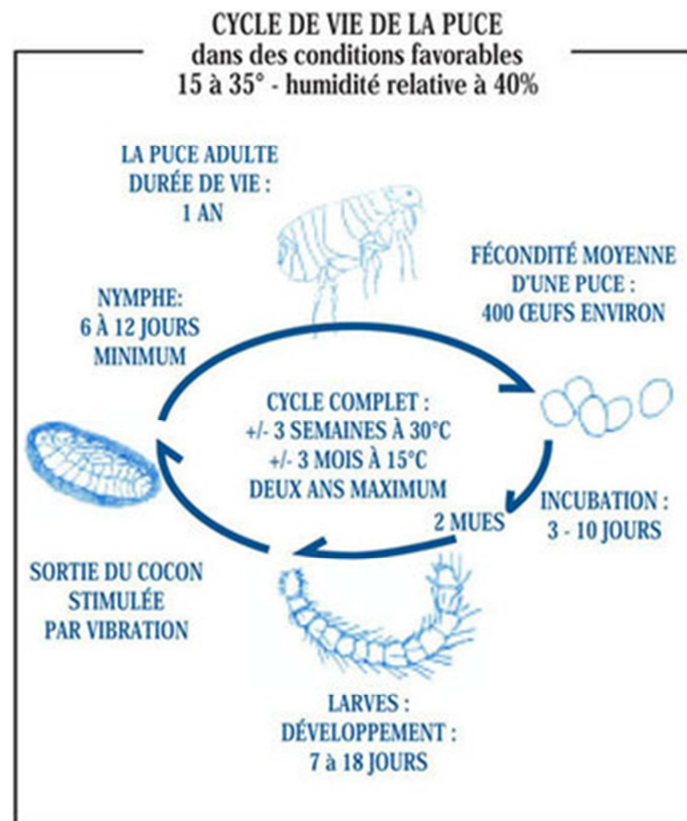


Figure 6 : Cycle biologique des puces

Cette grande prolificité est dans la nature contre balancée par divers phénomènes :

- Les conditions climatiques sont souvent peu propices à la réalisation du cycle et nécessitent un micro-environnement protégé.
- Le comportement cannibale démontre chez *Ctenocephalides felis* et *Ctenocephalides canis* fut parfois avancé pour expliquer l'ascendant de *C. felis* sur *C. canis* retrouvé dans la nature. Les derniers travaux de Cadiergues ont démontré (Cadiergues, 2000) :

1. L'absence de compétition entre mêmes stades pré-imaginaux.

2. mais une réelle compétition entre larves et œufs, et ce quelque soit les espèces mises en contact. L'espèce arrivant en premier aura donc l'ascendant.
- Les capacités de toilettage de l'hôte jouent aussi un rôle non négligeable dans le taux d'infestation des individus et sur l'espérance de vie des puces adultes (plus de 113 jours pour 72 % des puces femelles sur un chat à toilettage restreint) (Dryden, 1989). Ainsi les animaux limités par une collerette ont une population parasitaire supérieure ceux pouvant se toiletter librement; les jeunes (inexpérimentés), (Villeneuve & Marcotte, 1988) et les vieux animaux (débilites) sont souvent la proie d'infestations plus importantes.

La puce du chat est donc un parasite **sédentaire** (Franc & Cadiergues, 1997).

Quelques études datant d'une quinzaine d'année (Medheu & Miller, 1983 ; Halliwell, 1983 ; Melman & Hutton ; 1985 ; Reedy, 1986) affirmèrent que la puce était présente sur l'hôte uniquement pour ses repas. Le doute fut levé en constatant que ces études ne furent effectuées que sur des rongeurs.

Le lien hôte-parasite varie en effet beaucoup en fonction des espèces de puces envisagées.

Trois grands types comportementaux sont à distinguer (Franc, 1998 ; Beaucournu & Launay, 1990):

- Les « puces de fourrure », telles que *Pulex irritans*, *Xenopsylla cheopis*, *C. felis* et *C. canis*, ne quittent leur hôte que pour en infester un autre. Elles ont d'ailleurs une aptitude au saut développée. La répartition de ces puces se fera donc sur les lieux de passages et de couchage des hôtes.
- Les « puces nidicoles » ou « des terriers » telles que *Ceratophyllus gallinae*, infestant l'hôte que pour les repas, et ce tous les 2 à 4 jours.
- Les « puces sédentaires » et les « puces pénétrantes » telles que les femelles d'*Echidnophaga gallinuce* se fixant autour des yeux des volailles.

En ce qui concerne les carnivores domestiques, la survie du parasite est étroitement liée à ce statut de résident, qui lui assure une niche écologique d'une grande stabilité ; c'est pourquoi les autres stades du développement sont retrouvés sur les lieux de passage des hôtes, et même les larves, douées d'une certaine mobilité, ne peuvent se muer que sur une quarantaine de centimètres La puce ne possède donc aucune vraie forme de propagation, elle est pour cela presque entièrement dépendante de son hôte.

I. 5. 2. La vie des puces

Les puces adultes, mâles et femelles, sont hématophages. Les piqûres sont pluriquotidiennes, rapides (2 à 10 minutes) et indolores. Le poids moyen de sang ingéré peut atteindre 0,42 mg (Beaucournu *et al.*, 2005). Les déjections, émises pendant le repas de sang, sont utilisées par les larves. La digestion du sang le rendra plus sombre au bout de quelques heures. L'œsophage et l'estomac sont séparés par le proventricule, organe garni de spicules sclérifiées. La présence, en amont du proventricule, de sang frais à distance d'un repas de sang témoigne d'un blocage proventriculaire dont on verra l'importance dans la peste.

Les femelles pondent des œufs de manière continue, sans rythme par rapport aux repas sanguins. Les œufs n'adhèrent pas aux poils ou plumes des hôtes (à une exception près) et tombent au sol ou dans la litière des nids ou terriers. Le nombre d'œufs est variable. Pour *C. felis* il a été évalué à environ 30 par jour et, sur la totalité de la vie active d'une femelle à plusieurs centaines (400 à 1 000 selon les auteurs) (Bitam *et al.*, 2006). Les œufs mesurent environ 0,5 mm, sont ovoïdes et de couleur blanc crème. Les larves sont apodes, vermiformes et se nourrissent de débris de phanères et de produits de digestion de sang par les adultes voire, pour les larves de derniers stades de certaines espèces, d'œufs non viables pondus par les femelles vierges (Rothschild, 1975). A noter cependant des exceptions où la larve se nourrit directement sur l'hôte (mammifères en hibernation, poussins), devenant hématophage grâce à leurs pièces buccales broyeuses (Lu & Wu, 2005). A l'issue des trois stades larvaires, une troisième mue transforme l'insecte en nymphe immobile le plus souvent à l'intérieur d'un cocon auquel adhèrent les poussières du nid ou du terrier. L'émergence de l'adulte peut être très retardée et déclenchée par des stimuli (chaleur, vibrations) (Dryden & Gaafar, 1991). C'est ce phénomène qui est observé lors de sorties en masse, synchronisées, d'adultes de *C. felis* à l'occasion d'un retour dans des habitations longtemps inoccupées.

En dehors des repas sanguins, les puces peuvent se situer, soit dans le nid ou le terrier, soit dans le pelage. Bien que des préférences spécifiques soient retrouvées, il faut garder à l'esprit que ce comportement n'est pas statique et peut varier selon les saisons. Des situations exceptionnelles telles que de fortes précipitations peuvent transformer des puces de nid momentanément en puces de pelage (HSU *et al.*, 2002). Enfin rappelons le comportement très particulier de deux espèces du genre *Tunga*, *T. penetrans* et *T. trimamillata*, agents de la tungose ou puce chique de l'homme dont les femelles s'enchâssent dans le derme de manière permanente et définitive, ne laissant dépasser que leurs segments abdominaux terminaux

pour permettre la ponte. Enfin, certaines espèces telles qu'*Echidnophaga gallinacea* restent fixées sur l'hôte (volailles, rongeurs péri-domestiques) mais sans s'enchâsser dans le derme. Très tôt, l'influence de la température et de l'humidité sur la survie des puces a été mise en évidence (SILVERMAN & RUST, 1985). Cependant, des seuils de température ou d'humidité n'ont été établis que pour quelques espèces à partir d'expériences en laboratoire, par exemple pour *X. cheopis* et *C. felis* (Stark, 2002 ; Bacot, 1914).

L'extrapolation de ces données à d'autres espèces et surtout aux conditions naturelles est difficile. Des observations de terrain ont montré une forte saisonnalité de l'abondance des puces. Parfois, cette abondance est rattachée à la physiologie, ou à l'abondance de l'hôte, dans des conditions microclimatiques très stables (Margalit & Shulov, 1972). Elle est, plus souvent, reliée aux conditions climatiques des saisons, ou microclimatiques des nids et terriers des hôtes (HSU *et al.*, 2002). Les stades les plus sensibles aux conditions environnementales sont les larves, tandis que les nymphes dans leurs cocons peuvent constituer des stades de résistance (Metzger & Rust, 1997 ; Haas, 1965). Ce phénomène est bien décrit chez *C. felis*, espèce dont les adultes ont une survie faible, de l'ordre de 40 jours en conditions optimales de température basse et de forte humidité (Silverman & Rust, 1983).

D'autres espèces ont des survies plus longues telles *Nosopsyllus fasciatus* et *P. irritans* respectivement 95 et 135 jours, pour des puces à jeun, plus sensibles aux variations d'humidité (Silverman & Rust, 1985). Des puces continuellement nourries survivent plus longtemps et des maxima de plus d'une année ont été observés, avec un record de 1725 jours pour *Neopsylla setosa* (Krasnov *et al.*, 2001).

I. 5. 3. Spécificité d'hôte

Les puces sont des ectoparasites qui ont pour hôtes des mammifères ayant un gîte régulier, et des oiseaux. Les grands herbivores qui ne possèdent pas de gîte ne sont pas habituellement parasités par les puces.

Les puces sont adaptées à des espèces hôtes mais pas de façon stricte, ce qui explique la transmission de la peste du rat à l'homme par la puce du rat *Xenopsylla cheopis* et les infestations de chèvres par *Ctenocephalides felis* qui normalement parasite les carnivores.

La sous-espèce *Ctenocephalides felis strongylus* remplace *C. canis* sur les carnivores domestiques dans beaucoup de régions chaudes du monde. Des infestations massives par cette sous-espèce sur des petits ruminants et même sur des veaux y sont parfois observées. Cette

sous-espèce est souvent déterminée à tort comme *C. canis*, car elle a le même front fortement convexe.

Certaines espèces de puces sont inféodées à un hôte particulier. Ainsi, *Ceratophyllus lunatus* et, du même genre, *C. hirundinis*, sont respectivement parasites exclusifs de l'hermine et de l'hirondelle des fenêtres. D'autre part, la famille entière des *Ischnopsyllidae* est restreinte aux chauves-souris avec une séparation en deux sous-familles, dévolue chacune aux deux groupes de chauves-souris, Micro-chiroptères et Macro-chiroptères (Lewis, 1998). Il existe plusieurs exemples d'une très étroite adaptation du comportement des adultes (copulation, repas de sang, ponte) à la physiologie de l'hôte animal. Ainsi, la femelle *Spilopsyllus cuniculi*, la puce du lapin, voit sa maturation sexuelle complète lors des 10 derniers jours avant la mise bas de la lapine (Krasnov *et al.*, 2001).

Elle va ainsi déposer ses œufs auprès des lapereaux nouveau-nés puis 1 à 3 semaines plus tard retourne sur la lapine lactante et voit alors une résorption de ses ovocytes en cours de maturation.

Ce n'est cependant pas la règle générale et la majorité des puces ont un spectre d'hôtes large et peu spécifique. L'analyse des assemblages entre les différentes espèces de puces et leurs hôtes montre une forte importance des biotopes et de leurs micro-climats (Beaucournu, 1982). Les puces présentent une spécificité écologique plus fréquemment qu'une spécificité d'hôte. Leur répartition spatiale est très liée aux différents biotopes, notamment du fait des stades larvaires, plus sensibles aux variations microclimatiques. Un même hôte mammifère pourra donc être parasité par des espèces de puces différentes selon les milieux dans lesquels il est capturé. Le transfert de puces entre hôtes par fréquentation des mêmes biotopes (populations de rongeurs ou micromammifères, prédateurs, oiseaux colonisant des terriers) ou disparition de l'hôte primitif sont autant d'occasions pour une puce d'acquérir un nouvel hôte et le phénomène de capture est banal. Il est donc très difficile actuellement de retrouver, sauf exceptions, une correspondance entre la phylogénie des hôtes et l'association avec leurs puces (Houhamdi, 2005).



Figure 7: *Pulex irritans*



Figure 8 : *Ctenocephalides canis*

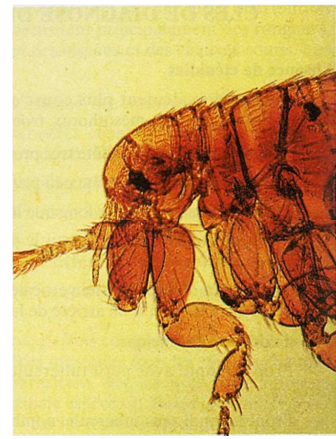


Figure 9 : *Xenopylla cheopis*



Figure 10 : *Ctenocephalides felis*

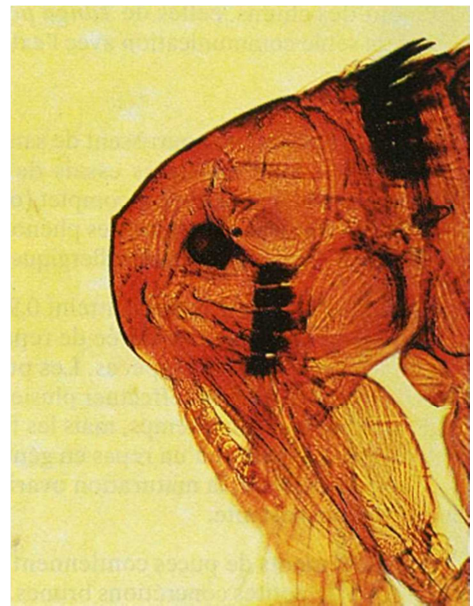


Figure 11: *Spilopsyllus cuniculi*



Figure 12 : *Ctenocephalides canis* (pattes)

I. 5. 4. Localisation et comportement

Lorsque la température est basse et que les puces de l'espèce *X. cheopis* sont peu nombreuses sur la peau des rats, elles sont localisées à l'encolure. Sur les chiens et les chats on retrouve le plus souvent les puces en région dorso-lombaire mais chez certains individus l'auteur a pu observer de façon répétée des localisations préférentielles telles que le cou, l'abdomen et la région périvulvaire (Franc, 1994).

Sur le tégument de leur hôte, les puces se déplacent à l'aide de leurs griffes puissantes qui leur permettent de s'accrocher aux poils, aux plumes et à la surface de la peau. Les nombreuses épines et les différentes soies dirigées vers l'arrière leur évitent de glisser lors de leur progression verticale.

Il est possible de classer les puces en fonction de trois grands types comportementaux :

- les puces qui vivent en permanence sur leur hôte et qui ne le quittent que pour contaminer un nouvel individu ; elles sont qualifiées de « puces de fourrure » et possèdent habituellement une bonne aptitude au saut ; c'est le cas de *X. cheopis*, de *Pulex irritans* et de *C. canis* et *C. felis*.

- les « puces nidicoles » ou « puces de terriers », qui passent la quasi-totalité de leur temps dans le nid ou le terrier et ne parasitent leur hôte qu'au moment des repas, c'est-à-dire tous les deux à quatre jours (*Ceratophyllus gallinae*) ; ces espèces sont moins mobiles et sautent moins haut que les précédentes.

- les « puces sédentaires » et les « puces pénétrantes » : après fécondation, les femelles d'*Echidnophaga gallinacea* se fixent autour des yeux des volailles et plus rarement des chiens, celles de *Tunga penetrans* s'enfoncent dans le conjonctif sous-cutané, la seule communication avec l'extérieur étant l'orifice de ponte (Franc, 1994).

I. 6. Pathologies transmises à l'homme et aux animaux

I. 6. 1 Rôle pathogène direct

Leur rôle pathogène direct reste souvent peu important. La présence des puces, très mobiles dans le pelage, se solde par divers symptômes. La majorité des animaux vont présenter un « agacement » et du prurit. Ils se grattent régulièrement, plus ou moins intensément, se lèchent ou se mordillent. Ils cherchent dans ces cas à attraper puis à avaler ces puces. Les chats y arrivent très bien, ce caractère explique d'ailleurs le cycle de réalisation du ténia *Dipylidium caninum*, dont la puce est un hôte intermédiaire. La tolérance à l'infestation est très variable, puisque des carnivores vont tolérer des infestations de plusieurs puces n'exprimant qu'un prurit modéré alors que d'autres vont présenter une dermatite allergique lors de la présence d'une dizaine de parasite. Chez la plupart des carnivores, le parasitisme continu se traduit par l'induction d'une tolérance immunitaire aux antigènes salivaires, chez d'autres, le système immunitaire se « dérègle » et l'allergie apparaît.

Les signes de dermatite par allergie aux piqûres de puces (DAPP ou DHPP pour dermatite par Hypersensibilité aux piqûres de puces) apparaissent selon un facteur individuel.

Chez les chiens, bien souvent des animaux atopiques, donc ayant tendance à réagir de façon exacerbée vis-à-vis de tous les allergènes, les symptômes vont être caractéristiques. Ils correspondent à une mise en place d'une hypersensibilité à basophiles (HSI), avec infiltration tissulaire par des polynucléaires basophiles et une synthèse accrue d'IGE qui va provoquer leur dégranulation tissulaire, et d'une hypersensibilité retardée (HSIV). Hormis un prurit intense engendrant des plaies de grattage, les chiens présentent une dépilation diffuse, intéressant essentiellement la zone dorsolombaire mais pouvant s'étendre. Le revêtement cutané est altéré par l'état inflammatoire chronique, la peau s'épaissit (hyperkératose), devient grisâtre (mélanose), se plisse et est grasse et malodorante (hyper séborrhée). Les antigènes qui initient cette réponse immuno-inflammatoire proviennent de la salive des puces. Il s'agit de plusieurs protéines de haut poids moléculaires (14 à 150 KDa), ainsi que de peptides (haptènes < 1 KDa) se liant aux protéines de l'hôte pour les rendre antigéniques (Beugnet, 2002).

L'allergie se déclenche lors de stimulation antigénique discontinue avec une quantité suffisante d'allergènes : il y a un seuil de déclenchement correspondant à un certain nombre de puces.

Chez les chats, cette sensibilisation se traduit surtout par une dermatite miliaire, autrement dit par l'apparition de multiples papules et de croûtes sur le dos et autour du cou. La peau prend

un toucher sableux. L'animal se gratte continuellement et peut même se blesser avec ses griffes. L'irritation liée à la présence de puces induit aussi chez un certain nombre d'animaux un comportement de toilettage et de léchage excessif ; il en résulte une perte de poils sur l'abdomen, les cuisses, les flancs ou la queue. Les allergènes salivaires de puce sont également incriminés comme facteur déclenchant du complexe éosinophilique félin, avec diverses formes : granulomes ou plaques éosinophiliques cutanés, ulcères labiaux, lymphangites. La présence de puces semble aussi intervenir en parallèle à des facteurs psychologiques et comportementaux dans le déterminisme de l'alopecie extensive féline (AEF) ou alopecie auto-induite (Savary de Beauregard, 2003).

❖ Spoliation sanguine

Une puce en phase de ponte consomme en moyenne 13.6 μ litres de sang par jour (Dryden & Gaafar, 1991) ; une infestation de 72 femelles peut donc engendrer une spoliation de 1 ml. Des cas d'anémie furent rencontrés dans de nombreuses espèces, ces anémies ferriprives pouvant éventuellement entraîner la mort chez des individus faibles. De la mortalité a été signalée chez des chats, des chiens, des agneaux et des chevreux.

❖ Dermatite associée aux piqûres de puces

La piqûre seule entraîne une irritation locale pouvant donner un petit bouton suite à la réaction inflammatoire. Ces petites lésions sont souvent localisées à des zones assez précises sur nos carnivores domestiques, comme la région dorso-lombaire, le cou, l'abdomen et la région péri-vulvaire.

La dermatite peut prendre, chez certains individus, une composante allergique. En effet, l'insecte injecte, dans sa salive, un anticoagulant et un haptène non protéique. Ce dernier en association avec le collagène de l'hôte forme un antigène complet à l'origine de la DAIP (Dermatite Allergique aux Piqûres de Puces).

Cette dernière représente d'ailleurs la pathologie cutanée la plus courante dans le monde (Dryden & Rust, 1994), excepté au Canada où elle est devancée par la *cheyletiellose* (les faibles températures en sont l'explication la plus probable).

La piqûre de *Tunga penetrans*, particulièrement dans les régions chaudes, peut être à l'origine d'ulcères et d'abcès chez l'homme et les porcins: parfois surinfectés par des *Clostridium tetani*, le tableau clinique peut alors s'assombrir rapidement (Franc, 1998).

I. 6. 2 Rôle pathogène indirect

Les puces sont essentiellement connues dans leur rôle pathogène direct, mais ce sont des vecteurs d'agents pathogènes au même titre que les autres arthropodes hématophages.

On connaît bien sûr le rôle joué par les puces du rat (dont *Xenopsylla cheopis*) et la puce humaine (*Pulex irritans*) dans la transmission de la peste humaine (*Yersinia pestis*), rôle découvert par PL Simond en 1898.

La puce du lapin (*Spilopsyllus cuniculi*) peut occasionnellement transmettre l'agent de la tularémie (*Francisella tularensis*) mais aussi le virus agent de la myxomatose. Les puces des carnivores sont susceptibles de transmettre des filaires sous-cutanées ou péritonéales telles que *Dipetalonema reconditum* mais surtout la bactérie agent de la maladie des griffes du chat, *Bartonella henselae* (Beugnet, 2002).

I. 6. 2. 1 Transmission de bactéries et de virus

- ❖ *Yersinia pestis* : De nombreuses espèces de puces sont vectrices du bacille de la Peste *Yersinia pestis*, sévissant malheureusement encore dans quelques régions du monde, et notamment aux Etats-Unis.

La contamination se fait par morsure, déjection et souillure de plaies. Le bacille bloque chez la puce le fonctionnement du pro-ventricule, affamant ainsi la puce qui essaie de se nourrir de nombreuses fois sur différents animaux. La dissémination en est alors facilitée. Elles assurent la propagation de la maladie au sein de l'espèce source (principalement celle des rats), puis entre espèces puisqu'une puce affamée peut se nourrir sur divers hôtes (transmission du rat au chat ou à l'homme ou du chat à l'homme).

Aux Etats-Unis, l'augmentation du nombre de cas de peste féline évolue parallèlement au nombre de cas humains (Dryden & Rust, 1994).

- ❖ *Rickettsia mooseri* est l'agent du typhus murin qui peut, par l'intermédiaire de *Xenopsylla cheopis* aussi être dangereuse pour l'homme.
- ❖ *Francisella tularensis* est l'agent de la tularémie du lapin et du lièvre; cette zoonose est notamment transmise par *Spilopsyllus cuniculi* et *Ceratophylus faciatus* (Bussieras & Chermette, 1991).
- ❖ *Le virus de Sanarelli*, agent de la *myxomatose*, est porté par la puce du lapin, *Spilopsyllus cuniculi* ; il fut très utile dans les premières campagnes de contrôle de la population lapine en Australie.

I. 6. 2. 2. Transmission d'helminthes

- ❖ *Dipildium caninum* : Le plus connu dans nos régions est *Dypildium caninum* dont les cucurbitains sont retrouvés aux marges de l'anus ou dans les selles. L'association vers-puces sur nos animaux souligne clairement l'importance de l'auto-toilettage, car le cycle de ce cestode ne peut se réaliser qu'après l'ingestion d'une puce. Les œufs du cestode sont ingérés par la larve de la puce, au milieu des débris organiques du sol.

Il faut noter qu'exceptionnellement *Dypildium caninum* peut parasiter l'enfant.

- ❖ *Hymenolepis diminuta* est un cestode de l'intestin grêle du rat, suivant un peu le même cycle que *Dipildium*. *Ceratophyllus faciatus* et *Xenopsylla cheopis* sont les 2 puces vectrices (Dryden & Rust, 1994).
- ❖ *Acanthocheilonema reconditum* (anciennement *Dipelotalonema reconditum*) a pour vecteur *Ctenocephalides canis* et *Pulex irritans*. Au stade adulte, cette filaire réside dans le tissu périnéal du chien.

I. 6. 3. Les maladies humaines liées aux puces

I. 6. 3. 1. L'infestation par les puces

L'infestation de l'homme par les puces entraîne des démangeaisons secondaires aux piqûres ou un désagrément provoqué par leurs déplacements. L'injection de salive au moment de la piqûre peut entraîner une réaction de type allergique et des lésions cutanées importantes peuvent être observées, soit à type de lésions de prurit soit des lésions puncti-formes sombres centrées sur le site de piqûre, persistant plusieurs jours (purpura pulicosa). Enfin certaines personnes peuvent développer de manière rare, à la suite d'une infestation massive par des puces, *C. felis felis* le plus souvent, un état de souffrance psychologique liée à la persistance imaginaire de la parasitose et dont l'importance peut être minorée ou ignorée par le personnel soignant.

I. 6. 3. 2. La puce chique

En milieu tropical (Afrique et Amérique Centrale et du Sud), la tungose ou puce-chique (*T. penetrans* et *T. trimamillata*) peut causer de graves dommages, notamment chez l'enfant par le biais de la porte d'entrée de la barrière cutanée qu'elle occasionne (tétanos). Les larves se développent dans un sol sableux plutôt sec et les adultes, de petite taille vont rapidement rechercher un hôte. La femelle se fixe aux extrémités inférieures des animaux de grande taille (ou des pieds de l'homme ou du cuir chevelu d'enfant dormant sur le sol).

La femelle s'enfonce dans le derme jusqu'à ne laisser dépasser que l'extrémité de l'abdomen, (possédant les spiracles respiratoires autorisant les échanges gazeux malgré l'intériorisation d'une grande partie de l'organisme) et distend fortement son abdomen pendant une durée de 8 à 10 jours à l'issue de laquelle plusieurs milliers d'œufs sont pondus séparément jusqu'à la mort de la femelle. Les débris de l'organisme de la puce peuvent aboutir à la formation d'une ulcération éventuellement secondairement infectée par différents germes notamment telluriques (Feldmeier *et al.*, 2003).

I. 6. 3. 3. La peste

La peste est d'abord une maladie de rongeurs transmise par des puces et causée par une bactérie à Gram négatif, *Yersinia pestis*, dont le séquençage complet du génome a été effectué en 2001 (Parkhill *et al.*, 2001). Elle est transmissible à l'homme et cette anthroponose est l'une des trois maladies quaranténaires à déclaration obligatoire.

❖ Historique

Trois pandémies majeures ont émaillé l'histoire de l'homme (Brossolet & Mollaret, 1994). La troisième et actuelle pandémie, ou peste orientale, a débuté en Chine en 1894. Par l'essor de la marine marchande à vapeur, elle a rapidement touché les cinq continents. Là, selon le développement de l'hygiène mais aussi selon les caractéristiques de la faune locale, elle a pu soit se limiter temporairement aux ports (Europe occidentale), soit s'installer de manière durable dans des foyers plus étendus (USA, Afrique du Sud, par exemple) (Baltazard, 1960).

On a longtemps considéré comme établi que chacune des trois pandémies était due à un biotype différent de *Y. pestis* (Devignat, 1951). Cependant, Drancourt et Coll ont récemment montré, en utilisant une méthode de génotypage basée sur le séquençage de plusieurs «spacers» intergéniques, qu'un seul biotype, orientalis, aurait causé les trois pandémies (Drancourt *et al.*, 2004).

❖ Epidémiologie

Au cours des 24 dernières années (1979 - 2003) environ 45 000 cas de peste ont été déclarés à l'OMS, dont les trois quarts provenaient d'Afrique (OMS, 2004). Trois pays étaient particulièrement concernés :

Madagascar, la République Unie de Tanzanie et la République Démocratique du Congo. La létalité moyenne au cours de cette période a été de 7%, avec des différences entre les pays selon la qualité des soins ou du recueil des données sanitaires nationales (OMS, 2004). L'incidence de la peste a augmenté ces dernières années. Les foyers naturels résiduels dans le monde se trouvent actuellement en Afrique, en Asie et en Amérique. La peste est considérée comme une maladie ré-émergente dans le monde (Carniel, 1995), comme cela a été récemment le cas à Oran en Algérie (WHO, 2003).

La description des épidémies de peste d'un point de vue médical a fait apparaître l'homme comme la victime principale et les rongeurs proches de lui, telle rat noir *Rattus rattus*, comme le principal réservoir.

Pourtant la circulation de la peste est largement indépendante de l'homme. Dans les foyers naturels, la peste circule dans les populations de rongeurs soit à bas bruit, lorsque les rongeurs sont, au moins partiellement, résistants, c'est la forme de maintien de la peste. A l'occasion de la rencontre et de l'échange des puces avec une population de rongeurs sensibles, une épizootie va naître et amplifier la circulation du germe. Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de ces rencontres : il peut s'agir de causes naturelles (inondations, tremblements de terre, compétition territoriale) ou artificielles (irrigation, développement agricole, ...) à l'occasion desquelles les mêmes biotopes seront fréquentés par des espèces de sensibilités différentes au germe (Duplantier *et al.*, 2005). Le maintien du germe dans une même zone pendant de longues années (foyers invétérés), on l'a vu plus haut, peut être le fait d'une population de rongeurs en partie résistants.

En 1963, Mollaret a développé une autre hypothèse, celle de la peste endogée, c'est à dire du maintien du germe dans les terriers, soit dans les carcasses des animaux victimes d'épizootie, dans les puces desséchées voire à l'état libre dans la terre (Brossolet & Mollaret, 1994 ; Mollaret, 1963). Une survie sous une forme de résistance, non cultivable, a été mise en évidence par PCR, directement au niveau du sol ; éventuellement en symbiose avec des protozoaires telluriques voire parasites des rongeurs. La réactivation du germe pourrait se faire soit avec une augmentation de l'hygrométrie des terriers en rapport avec une nouvelle

colonisation par des rongeurs (les bactéries du sol deviennent cultivables après ajout de sérum de veau foetal voire d'eau distillée) ou par infection des rongeurs par les protozoaires quiescents. La peste réapparaît alors dans des populations de rongeurs lors de la fréquentation de terriers vidés par la précédente épizootie et la contamination initiale se fait par voie non vectorielle.

Quel que soit le mode de contamination initiale, la dissémination de la peste se fait par l'intermédiaire des puces. Celles-ci quittant l'hôte mammifère décédé sont infectées et potentiellement infectantes. Elles vont rechercher un nouvel hôte et lui inoculer le bacille. En dehors de la sensibilité au germe, les caractéristiques biologiques des rongeurs vont dessiner le profil des épizooties. Selon qu'il s'agisse de rongeurs qui vivent en colonies, qu'ils aient un comportement exploratoire ou agressif, qu'ils hibernent ou non, qu'ils hébergent des puces ou pas, le risque de rencontre avec le bacille va être différent, de même que la marche de l'épizootie, son intensité ou sa durée.

Le nombre de rongeurs potentiellement impliqués dans la transmission de la peste est important, au moins 200 espèces (Pollitzer, 1954).

Dans les foyers naturels, les cas humains sont relativement rares et concernent les chasseurs ou agriculteurs au contact des rongeurs sauvages ou des lagomorphes.

Baltazard parle d'anadémie pour décrire les cas humains sporadiques ou épidémiques mais qui surviennent indirectement suite à une zoonose (Baltazard, 1960). Le risque pour l'homme augmente nettement lorsque la peste atteint aussi les populations de rats domestiques du genre *Rattus*. Les espèces les plus domestiques telles le rat noir *R. rattus* ou les espèces ubiquistes, intermédiaires entre les milieux les plus sauvages et les milieux anthropisés seront les plus à même de déclencher des épidémies après les épizooties. Secondairement, une contamination interhumaine peut intervenir, soit directement par voie aérienne (peste pulmonaire) soit par l'intermédiaire de puces en contact avec à l'homme (peste bubonique) (Pollitzer, 1954).

❖ Les puces et la peste

Le rôle vecteur de la puce a été décrit par Paul-Louis Simond à Karachi en 1898 (Brossolet, 1960). Une étape clef de la transmission de *Y. pestis* est le blocage du pro-ventricule démontré en 1914 (Bacot & Martin, 1914). Les bacilles ingérés lors du repas de sang par la puce vont coloniser temporairement la partie antérieure de l'estomac et le pro-ventricule en formant

un bouchon obstructif plus ou moins complet empêchant le repas de sang (Bacot & Martin, 1914). Les efforts d'aspiration de la puce lors des piqûres vont permettre le passage des bactéries chez l'hôte mammifère au niveau du site de piqûre et ce d'autant plus que la puce est affamée et pique plus souvent. Ce mécanisme apparaît comme un des principaux mécanismes facilitant la diffusion de la maladie. Il dépend des espèces de puces (*X. cheopis*, la puce de rat, étant l'un des meilleurs vecteurs), des souches de *Y. pestis* ou de la température. Gan, en 1990 rap porte, dans les foyers de Transbaïkalie, un rôle vecteur important à des puces se «bloquant» difficilement telles *Rhadinopsylla rothschildi* et *R. daurica* du fait d'une grande abondance associée à un contact étroit avec l'hôte (Gage & Kosoy, 2005 ; Gan *et al.*, 1990).

La transmission mécanique est discutée et notamment son rôle à l'occasion de survenue d'épizooties massives et rapides. La rapidité avec laquelle *Malareus telchinum* peut transmettre la peste est en faveur de cette possibilité (Kartman *et al.*, 1958). Blanc l'a également évoqué à propos de *P. irritans*. Enfin plusieurs auteurs soulignent l'importance épidémiologique de la survie de la puce infectée. Parmi les facteurs affectant cette survie, le degré de blocage semble important et les puces partiellement bloquées, et conservant un apport alimentaire a minima aurait une survie meilleure et une capacité vectorielle supérieure aux puces complètement bloquées.

Au total, de nombreuses espèces de puces ont été trouvées infectées (Pollitzer, 1954), leur rôle respectif dans la transmission peut être très variable selon les foyers. Selon Jordan, toutes les puces sont des vecteurs potentiels mais leur rôle dans un foyer donné est toujours difficile à attribuer, chaque situation est à évaluer et les principes de lutte définis doivent l'être en connaissance de cause. Même si la propension d'une espèce donnée à se bloquer au laboratoire est faible, son rôle de disséminateur avec un spectre d'hôte large ou son importance peut-être temporaire en fonction de son abondance saisonnière ou son lien avec une espèce sensible doit faire discuter son importance épidémiologique. A l'opposé, certains auteurs ont évoqué l'intervention d'autres arthropodes, notamment des tiques. Si la réalité de l'infection de celles-ci est avérée, ainsi que la persistance du germe pendant des périodes prolongées, la capacité à transmettre n'a pas pu être démontrée pour aucune espèce (Thomas *et al.*, 1990).

L'observation de larves de puces hématophages chez des marmottes hibernantes a fait poser l'hypothèse d'un maintien du germe par l'intermédiaire des stades larvaires mais ceci n'a

jamais pu être confirmé au laboratoire. L'acquisition de l'infection pesteuse par voie orale est une réalité et les carnivores peuvent s'infecter probablement plus souvent par ingestion que par piqûres de puces. Mais dans la grande majorité des cas, la peste se transmet au sein des populations de rongeurs par les puces, de même que l'infection de l'homme se fait également par l'intermédiaire de la piqûre de puce, comme l'a bien montré l'épidémie de 1965 aux USA où les victimes, majoritairement indiens Navajos et consommateurs traditionnels de chiens de prairie, présentaient des tableaux de pestes buboniques (Kartman *et al.*, 1967). Le dogme de transmission de la peste par les puces reste donc d'actualité, même si le rôle vecteur d'une espèce donnée doit être relativisé selon les situations.

I. 6. 3. 4. Les rickettsioses associées aux puces

❖ Le typhus murin

Le typhus murin (encore appelé typhus endémique) est une des plus anciennes zoonoses connues, sans doute depuis le XVII^e siècle. Elle a été décrite cliniquement et distinguée du typhus épidémique à poux (Houhamdi *et al.*, 2005) dans les années 1920. Son agent a été nommé *Rickettsia mooseri* puis *R. typhi*, une bactérie intra cellulaire du groupe typhus dans le genre *Rickettsia* (Raoult & Roux, 1997).

Le vecteur principal du typhus murin est la puce orientale du rat, *Xenopsylla cheopis*. Les rongeurs, principalement les rats *Rattus norvegicus* et *Rattus rattus* sont réservoirs. L'infection des rats n'est pas fatale mais entraîne une bactériémie du 7^{ème} au 12^{ème} jour après inoculation. Les puces se contaminent en prenant un repas de sang sur les rats bactériémiques. La transmission transovarienne chez les puces est rare. Elles restent infectées toute leur vie et des rickettsies viables sont excrétées dans les fèces. Il est accepté que la plupart des gens sont contaminés quand des fèces infectées sont mises en contact avec la peau lésée ou inhalées. L'infection par piqûre semble plus rare (Azada *et al.*, 1997).

Bien que le typhus murin ait une distribution mondiale, il est peu souvent diagnostiqué. En effet, c'est une maladie dont les signes sont peu spécifiques. Après une incubation de 7-14 jours, la classique triade fièvre, éruption maculeuse et céphalées n'est présente que dans 15% des cas, même si une série récente en Grèce rap porte 83% de patients avec une éruption (Gikas *et al.*, 2002).

Les signes digestifs, respiratoires ou neurologiques font que le diagnostic évoqué à la présentation du patient est rarement celui de typhus murin (Raoult & Roux, 1997 ; Gikas et

al., 2002 ; Letaief *et al.*, 2006). De plus, moins de 50% des patients rapportent un contact avec des puces ou des rats.

Enfin, même sans traitement, l'évolution est en règle générale favorable en 7 à 14 jours (Raoult & Roux, 1997).

Des cas de typhus murin sont régulièrement rapportés aux USA, au Mexique et en Europe. Récemment, la maladie a ré-émergé au Japon (Sakaguchi, 2004). En zone tropicale, la maladie est peu souvent reconnue ou documentée. Les informations proviennent surtout d'études séro-épidémiologiques et de cas rapportés chez des touristes au retour de voyage. Plusieurs cas ont en effet été rapportés ces dernières années chez des voyageurs au retour d'Asie ou d'Afrique (Parola *et al.*, 1998 ; Watt & Parola, 2003). D'après les études séro-épidémiologiques, il semble que le typhus murin en zone tropicale est très présent dans les zones côtières où la population des rats est peut être encore plus importante (Raoult & Roux, 1997). Cependant avec un intérêt accru ces dernières années pour les rickettsioses tropicales, des cas ont été documentés récemment dans des pays tropicaux notamment à travers la collaboration avec des centres de références. Au Brésil, un cas a été récemment rapporté et une revue de la littérature faite par les auteurs suggère que la maladie est très présente dans le Sud Est du pays (Silva & Papaiordanou, 2004). Quatre cas ont été documentés également récemment en zone rurale à la frontière Thaïlande - Myanmar (ex Birmanie) (Parola *et al.*, 2003). Enfin, en Tunisie, les premiers cas documentés ont été rapportés en 2005 (Letaief *et al.*, 2006).

❖ La rickettsiose boutonneuse à puces

La rickettsiose boutonneuse à puces (flea borne spotted fever ou cat flea typhus en anglais) est une maladie émergente encore incomplètement décrite. Elle est due à une rickettsie du groupe boutonneux, *Rickettsia felis* (Parola *et al.*, 2005). Cette bactérie intracellulaire avait probablement été détectée pour la première fois en 1918 dans des puces de chats, pour n'être redécouverte qu'en 1990, caractérisée par des techniques moléculaire et nommée «ELB agent » (Parola *et al.*, 2005). Le nom de *R. felis* a été proposé après les premières tentatives d'isolement de la bactérie en culture en 1995 et 1996. Cependant, la culture et la caractérisation définitive de la bactérie a été effectuée en 2001 et le nom a été conservé (Parola *et al.*, 2005). Le génome a été séquencé en 2005 (Ogata *et al.*, 2005).

En 1994, des fragments d'ADN de cette bactérie ont été détectés du sang d'un patient prélevé au Texas en 1991 (Parola *et al.*, 2005). En 2000, au Mexique, une infection à *R. felis* a été

diagnostiquée par sérologie et biologie moléculaire chez 3 patients présentant de la fièvre associée à une éruption boutonneuse. Des évidences sérologiques et/ou moléculaires d'infection ont également été rapportées chez des patients en France et au Brésil (Parola *et al.*, 2005). En 2002, deux cas typiques de fièvre boutonneuse avec fièvre, éruption et escarre d'inoculation (tache noire) ont été rapportés chez un couple d'adultes en Allemagne et l'infection à *R. felis* a été prouvée par séroconversion et biologie moléculaire (Parola *et al.*, 2005). Le premier cas d'infection à *R. felis* en Asie a été récemment rapporté chez un patient en Thaïlande (Parola *et al.*, 2003). Enfin, des cas ont récemment été rapportés dans les îles Canaries. Dans les quelques cas documentés, une éruption et/ou une escarre sont fréquemment rapportées. Ces signes sont typiques des rickettsioses boutonneuses, dont les agents sont cependant connus pour être transmis par piquûres de tiques (Parola *et al.*, 2005).

Ces dernières années, *R. felis* a été associée à plusieurs espèces de puces à travers le monde dont *C. felis* (Azada *et al.*, 1997 ; Oliveira *et al.*, 2002 ; Kelly *et al.*, 2005), *C. canis* (Parola *et al.*, 2003), *P. irritans* (Rolain *et al.*, 2005 ; Azada *et al.*, 1997), et récemment *Archeopsylla erinacei* (Bitam *et al.*, 2006) et *Anomiopsyllus nudatus* (Stevenson *et al.*, 2005). Il est intéressant de noter que la transmission transovarienne de *R. felis* chez les puces a été montrée suggérant que les puces sont non seulement vectrices mais aussi réservoir de la bactérie (Azada *et al.*, 1997). Ainsi, la bactérie et la maladie pourraient avoir une répartition mondiale. Le rôle des mammifères, dans le cycle biologique de *R. felis* reste inconnu.

❖ Les bartonelloses associées aux puces

Les *Bartonella* sont de petites bactéries à Gram négatif, intracellulaires facultatives, et parasitant les hématies des mammifères qu'elles infectent. Actuellement, huit espèces de *Bartonella* et quatre *Bartonella* de classification taxonomique incertaine ont été détectées dans des puces. Parmi elles, l'espèce la plus connue est *Bartonella henselae*, seul agent démontré de la maladie des griffes du chat chez l'homme. Si la première description de cette maladie a été publiée en 1889, il a fallu attendre 1983 pour qu'une étiologie bactérienne soit évoquée, puis 1993 pour que son agent étiologique, initialement nommé *Rochalimaea henselae*, soit isolé de biopsies d'adénopathies (Dolan *et al.*, 1993). Le rôle pathogène de *B. henselae* également été démontré dans l'angiomasose bacillaire, la péliose hépatique, des cas de bactériémie chronique et d'endocardite et plus rarement de méningite, encéphalite, éruption cutanée, thyroïdite, uvéite, ostéite, ou atteinte viscérale (Jacomio *et al.*, 2002). Le rôle du chat domestique comme réservoir de *B. henselae* a été démontré dès 1992 (Regnery

et al., 1992). Le chat développe une bactériémie chronique le plus souvent asymptomatique. En 1994, la bactérie a été détectée pour la première fois dans la puce du chat, *C. felis*. Cette puce a alors été suspectée de jouer un rôle de vecteur (Koehler *et al.*, 1994). Le taux d'infection des puces de chat par *B. henselae* varie selon les études de 3 à 50 % (Rolain *et al.*, 2003, La scola *et al.*, 2002). Cette association semble ubiquitaire et a notamment été montrée en zone tropicale (Parola *et al.*, 2003 ; Kelly *et al.*, 2004 ; Shaw *et al.*, 2004).

Après ingestion lors du repas sanguin sur des chats bactériémiques, *B. henselae* se multiplie dans le tube digestif de la puce, sans conséquences apparentes. Elle est ensuite émise dans les fèces où elle reste vivante pendant au moins 3 jours (Finkelstein *et al.*, 2002). Les puces infectées peuvent alors infecter des chats sains (Chomel *et al.*, 1996). Dans des proportions pouvant atteindre 20 %, les populations de *C. felis* sont co-infectées par *B. henselae* et une autre bactérie : *Bartonella clarridgeiae* (Gurfield *et al.*, 2001), *Rickettsia felis*, ou *Haemoplasma sp.* (Shaw *et al.*, 2004). Toutefois, si le rôle de *C. felis* dans la transmission de *B. henselae* au chat a été prouvé (Chomel *et al.*, 1996), il n'existe aucune démonstration de son rôle de vecteur de la maladie à l'homme, même si cette hypothèse a été suspectée à plusieurs reprises. En effet, dans certains cas, la maladie est survenue chez des patients n'ayant pas de contact avec des chats. Récemment, *B. quintana*, agent de la fièvre des tranchées associé au pou de corps humain (Houhamdi *et al.*, 2005), a été détecté dans 4,5% des *C. felis* prélevées chez des chats en France (Rolain *et al.*, 2003), dans des *P. irritans* prélevées chez des singes *Cercopithecus cephus* au Gabon ((Rolain *et al.*, 2005), et dans des puces de gerbille non identifiées en Afghanistan (Marié *et al.*, 2006). Le rôle précis des puces dans l'épidémiologie de l'infection à *B. quintana* chez l'homme, reste incertain. *B. clarridgeiae*, connue pour être responsable de bactériémies chez le chat mais dont le rôle pathogène pour l'homme reste discuté, a été détectée dans à 10 % à 18 % de *C. felis* prélevées sur des chats en France (Rolain *et al.*, 2003 ; La Scola *et al.*, 2002), mais aussi en Thaïlande (Parola *et al.*, 2003), aux USA (Lappin *et al.*, 2005), et en Nouvelle-Zélande (Kelly *et al.*, 2004). *B. koehlerae*, agent d'endocardite (Avidor *et al.*, 2004), a été identifiée dans *C. felis* en France (Rolain *et al.*, 2003) et dans des puces de gerbille non identifiées en Afghanistan (Marié *et al.*, 2006). *B. grahamii*, agent de neurorétinite (Kerkhoff *et al.*, 1999), a été détectée dans des puces *Ctenophthalmus nobiles* prélevées sur des campagnols en Grande-Bretagne (Bown *et al.*, 2004). *B. elizabethae*, agent d'endocardite (Daly *et al.*, 1993), et *B. doshiae*, de pathogénicité inconnue, ont été détectées dans des puces de rat non identifiées en Afghanistan (Marié *et al.*, 2006). Enfin, *B. taylorii*, de pathogénicité inconnue,

a été détectée dans des puces *Ctenophthalmus nobilis* prélevées sur des campagnols en Grande Bretagne (Marié et al., 2006 ; Bown *et al.*, 2004). Là encore, la place des puces dans le cycle épidémiologique des bactéries et le cas échéant des maladies humaines, reste à élucider.

I. 7. Spécificité parasitaire

Sur les 2237 espèces de puces répertoriées en 1979 (Silverman & Rust, 1985) ;

- 74% parasitent des rongeurs.
- 6% des oiseaux.
- 3% des lagomorphes.
- 3% des carnivores.

Pour la majorité d'entre elles, comme les puces de terriers, la spécificité est souvent liée à un biotope. Ce que Beaucournu décrit comme la **spécificité écologique** (Beaucournu & Launay, 1990). Ainsi elles parasiteront différents hôtes appartenant à un même environnement, tout en gardant une préférence trophique pour certain type d'hôte: par exemple, *Spilopsyllus cunicli* a besoin pour sa maturation ovarienne de prendre un repas sur une lapine en gestation, De même, *C. felis* ne pourrait se reproduire si elle se nourrit exclusivement de sang humain (Villeneuve & Marcotte, 1988).

La diagnose d'espèce ne peut donc se faire sur l'identité de l'espèce parasitée. Prenons quelques exemples dans les puces de nos régions (Choquart, 1999) :

I. 7. 1. *Ctenocephalides felis* : est reconnue pour pouvoir parasiter plus d'une cinquantaine d'hôte (puce euryxène), elle est pour cela considérée par certains auteurs comme la puce la moins spécifique (Beaucournu & Menier, 1998 ; Harman *et al.*, 1987 ; Kwochka, 1987 ; Scheidt, 1988). Ses origines sont en Afrique du nord et au Proche-Orient, alors qu'elle est actuellement présente sur une grande partie du globe. Le complexe *felis* qui regroupe les sous-espèces *C. felis* participe à cette faible spécificité d'hôte en élargissant le nombre de biotope propice à leur survie.

Le climat tempéré convient à *C. felis felis*, qui prolifère d'autant plus facilement à la chaleur de nos habitations.

I. 7. 2. *Ctenocephalides canis* : a pour hôte primaire le renard roux des zones paléarctiques. D'après l'enquête de Choquart concernant les chiens, cette espèce préfère les animaux vivant à l'extérieur et à des altitudes supérieures à 400 m (Choquart, 1999 ; Franc, 1998), confirment ainsi les observations de Beaucournu (Beaucournu, 1973 ; Beaucournu & Launey, 1990 ; Beaucournu & Menier, 1998), qui place cette espèce dans celle à « écologie assez stricte, parasite des canidés selvatiques et du chien lorsque les conditions de vie sont proches des conditions naturelles : chiens de ferme, chiens de berger, chiens de meute ». C'est une puce qui est qualifiée de sténoxène, vu sa nette préférence pour les canidés.

Les travaux de Marie-Christine Cadiergues ont permis de démontrer que le cycle de *C. canis* est réalisable entièrement sur des chats mais avec des rendements inférieurs que sur des chiens, respectivement 17,6% et 37°C, 4% à 27°C (Cadiergues, 2000).

Parallèlement, le taux de survie à 48 h de *C. felis felis* sur chiens est tout de même inférieur à celui de *C. canis*, respectivement 59% et 78% (Cadiergues, 2000).

I. 7. 3. *Spilopsyllus cuniculi* : Parasite inféodé au lapin de garenne (*Oryctolagus cuniculus*).

I. 7. 4. *Pulex irritans* : est appelée à tort « puce de l'homme »; ce dernier en a hérité lors de la période de glaciation lorsqu'il partagea les mêmes refuges que ses hôtes primaires que sont le renard et le blaireau. Elle peut être aussi retrouvée sur les rats (rôle dans la transmission de la peste), les chiens (Choquart, 1999 ; Wall *et al.*, 1997), les chats et les porcs.

I. 7. 5. *Archaeopsylla erinacei* : son hôte de prédilection est le hérisson, mais elle a déjà été retrouvée sur chien et chat (Choquart, 1999 ; Franc, 1998 ; Snodgrass, 1945). Les contacts que ces derniers ont avec les hérissons peuvent expliquer les quelques cas recensés. Le taux d'infestation des hérissons varie au cours de l'année ; en hibernation le nombre de parasite sur l'animal est presque nul tandis que les maxima sont atteints en fin d'été et en automne (Beaucournu & launey, 1990).

I. 7. 6. *Xenopsylla cheopis* : puce du rat et principal vecteur de la peste. Sa spécificité moyenne la rend très dangereuse en cas d'épidémie. Elle est ré pondue dans toutes les régions chaudes et tempérées du globe et sa répartition synanthrope est souvent corrélée à celle du rat (Beaucournu & launey, 1990).

Pour conclure, la puce est un parasite obligatoire dont la réalisation du cycle et son rendement sont influencés par la nature du milieu extérieur. La spécificité hôte-parasite assez lâche facilite alors la survie.

I. 8. Anatomie de la puce

I. 8. 1. Morphologie générale

La puce est protégée par un squelette externe constitué de chitine, polysaccharide aminé très résistant. Divisé en trois grandes parties la tête, le thorax et l'abdomen, le corps est recouvert de soies et de peignes ou cténidies. Portant des noms différents en fonction de leur localisation. La différence soie-cténidie se fait sur l'attache au tégument et la présence d'innervation (les peignes étant un prolongement de l'exosquelette sans innervation et présents en des points très précis sur le corps, en fonction des espèces). Ces derniers constituent des critères de diagnose très utiles.

Les soies qui sont dirigées vers l'amère constituent une aide à la progression dans le pelage.

Les ouvrages de Grasse et de Neveu-Lemaire constituent des documents de référence en morphologie des puces (Grasse, 1951 ; Neveu-Lemaire, 1938).

I. 8. 1. 1. La tête

Généralement ovalaire, trapézienne ou sub-rectangulaire, sans segmentation distincte, la tête, serrée contre le thorax, sans cou distinct, est peu mobile par suite de la présence d'une lame postérieure prolongée sur le pronotum. Yeux nuls ou réduits. Dans ce dernier cas, les vestiges oculaires, sans ommatidies, visibles sous forme d'une tache noire, plus ou moins profondément pigmentée, sont situés dans la partie céphalique médiane, de chaque côté de la fossette antennaire.

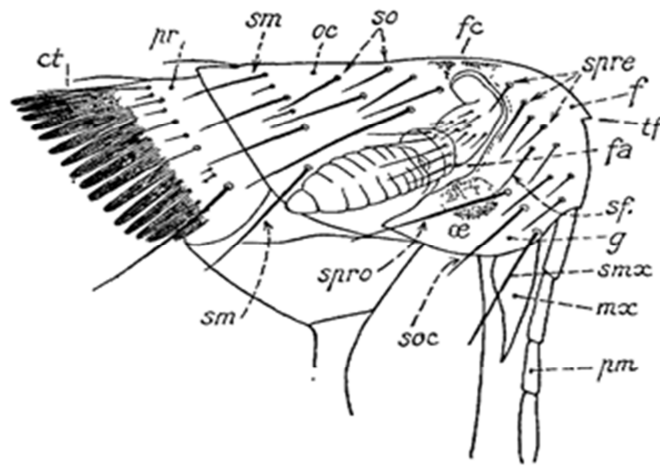


Figure 13 - *Dasypsyllus gallinulae* DALE Femelle, profil de la tête. - ct. Cténidie pronotale ; f. front ; fa. fossette antennaire ; fc. emplacement de la fracture céphalique (caput fractum) ; g. gène ; mx. Maxille ; oc. Occiput ; œ. œil ; pm. palpe maxillaire ; pr. pronotum ; sf. soies frontales ; sm. soies marginales ; smx. soie maxillaire ; so. soies occipitales ; soc. soie oculaire ; spre. soies préfrontales ; spro. soie préoculaire ; tf. tubercule frontal. (adapté d'après J. WAGNER).

Les parties latérales de la tête présentent une fossette ou gouttière antennaire (ouverte ou fermée par suite du rapprochement des bords, ou recouverte d'une lame chitineuse). Cette fossette peut se prolonger vers la face dorsale de la tête par un épaississement chitineux ou par une dépression plus ou moins profonde rejoignant ou non la ligne médiane dorsale. Les parties de la tête séparées par cette fossette antennaire forment le front pour la partie antérieure et l'occiput pour la partie postérieure. Le front présente ou non un denticule ou un tubercule frontal parfois invaginé dans une dépression. On croit que cet organe est utilisé par l'insecte pour couper le cocon nymphal au moment de l'éclosion. Le bord inférieur de la partie frontale constitue les gènes, qui peuvent également être prolongées inférieurement par une épine plus ou moins saillante.

La tête porte des soies ou des poils qui prennent le nom des parties où ils sont plantés. On distingue les soies pré-oculaires, frontales, pré-antennaires, occipitales. Ces soies peuvent être isolées ou réunies en séries plus ou moins régulières. La tête porte ou non des cténidies ou peignes formés d'épines noires, épaisses et courtes, plus ou moins émoussées.

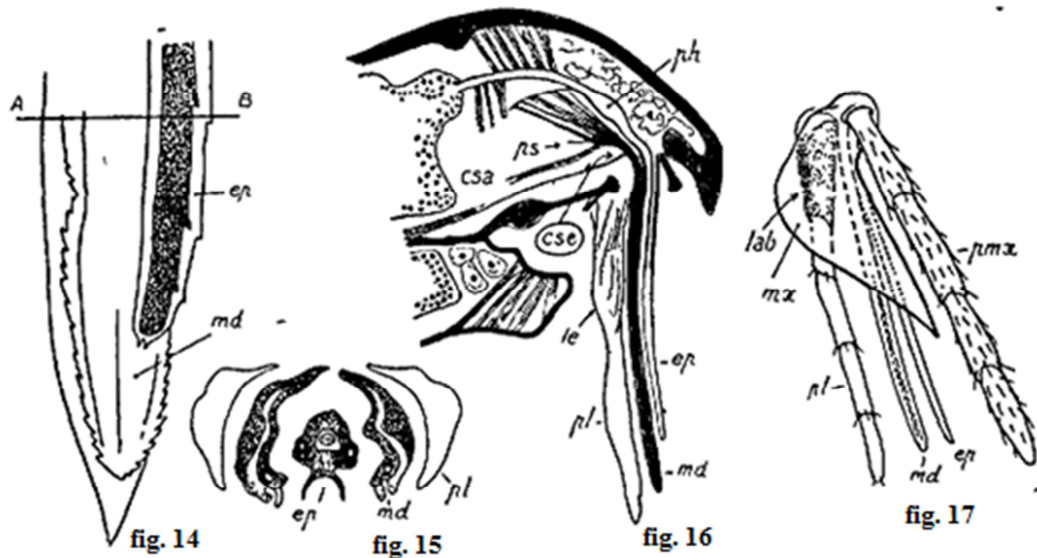


Figure 14 à 17 : - 14. Coupe longitudinale de la trompe de la Puce du Chat (*C. felis* B.) partie distale. La coupe assez épaisse, montre les deux stylets et le labium superposés. - 15. Id., coupe transversale de l'organe en A B. - 16. Id., coupe sagittale de la tête du *C. felis* B. (adapté d'après NITZULESCO). - 17. Ensemble des pièces buccales montrant les rapports des différents organes (schématisé d'après E. MARTINI). - csa. Canal salivaire alTérent ; cse. canal salivaire efférent ; ep. Epipharynx ; lab et le. Labre ; md. Mandibules ; mx. Maxilles ; ph. Pharynx ; pl. palpes labiaux ; pmx. palpes maxillaires ; ps. pompe salivaire

Les pièces buccales comprennent sept pièces une paire de mandibules, l'hypopharynx, le labre-épipharynx, une paire de maxilles et le labium. Le labium et les maxilles portent des palpes.

- a) **Mandibules (md) :** Ce sont deux lamelles allongées, aplaties et coupantes, dentelées sur les deux tiers terminaux, cannelées en dessous le long de la face interne depuis l'extrémité de l'hypopharynx. La réunion et l'apposition des mandibules formes un canal salivaire qui se continue en arrière jusqu'à l'ouverture du conduit salivaire contenu dans l'hypopharynx. Les mandibules sont articulées avec le haut de la capsule céphalique au moyen d'un petit sclérite qui donne une grande mobilité. Les mandibules sont des organes perforants.
- b) **Hypopharynx :** C'est un petit sclérite concave, incurvé sur le bord, qui renferme la pompe salivaire et ses muscles moteurs fixés au tentorium. L'hypopharynx, perforé antérieurement par le canal salivaire, s'étend sur une courte distance entre l'épipharynx et les mandibules.
- c) **Labre-épipharynx :** C'est un stylet médian, allongé, cannelé ventralement et percé par un canal, beaucoup plus court que les mandibules.

Le canal qui le traverse est fermé à l'extrémité distale. La salive se déverse dans la plaie par les deux mandibules. Le labre-épipharynx est un organe de soutien et un organe sensoriel (NITZULESCO).

d) Maxilles : Rudimentaires ; consistent chacune en une forte pièce basale, généralement triangulaire, placée de chaque côté de la bouche.

Elles ne paraissent pas être utilisées dans la piqûre. Les maxilles portent des palpes formés de quatre articles, dressés antérieurement.

e) Labium : Le labium, ou lèvre inférieure, est formé d'un court menton basilaire. Il porte deux palpes labiaux allongés, ordinairement formés de cinq articles, mais leur nombre peut se réduire à deux ou se subdiviser jusqu'à dix-sept. En section transverse, les palpes labiaux sont légèrement concaves et forment par leur réunion un fourreau qui contient les mandibules et le labre-épipharynx.

Dans l'action vulnérante, la peau est attaquée au moyen de l'organe formé par le labre et les mandibules. Les muscles de la pompe salivaire injectent la salive dans la blessure provoquée par l'action des mandibules. Le pharynx aspire le sang au moyen du canal afférent et le repousse dans l'estomac. L'utilisation du labre pour la piqûre est douteuse, sa structure apicale ne lui permettant pas de piquer : il se recourbe en arrière et postérieurement pendant la succion.

f) Antennes : Courtes, triarticulées ; premier article en segment mince, deuxième court, en forme de bague ; article terminal dilaté en massue présentant une série de plis parallèles ou de lames foliacées (dix au plus) variables suivant les sexes ou les espèces. Les antennes sont logées dans la fossette antennaire. Elles peuvent être différentes dans les deux sexes (fig. 17).

I. 8. 1. 2. Le thorax

Formé de trois segments libres, articulés entre eux, plus ou moins mobiles : pro- méso- et métathorax ; chaque segment se compose d'une partie dorsale (tergite) et d'une ventrale (sternite). Le tergite est simple, arqué et descend sur les côtés, de plus en plus en arrière. Il peut porter des peignes ou cténidies formés de dents noires, plus ou moins épaisses. Le sternite peut être divisé en plaques secondaires articulées : épisternites, épimérites, etc. Le prosternum, très développé, prolongé sous la tête, porte la première paire de pattes qui par cette disposition, semble attachée à la tête. On peut distinguer également sur la partie médiane du mésosternite un épaissement vertical interne ou apodème (*Xenopsylla*). Le métathorax

est remarquable par une épimère bien développée qui recouvre plus ou moins complètement la base de l'abdomen.

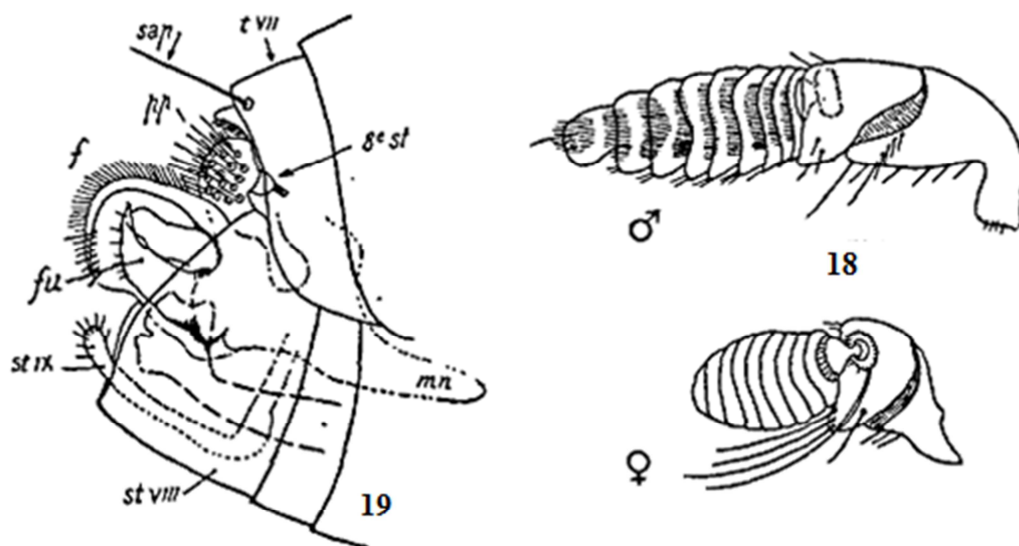


Figure 18 et 19 : - 18. *Ceratophyllus gallinae* SCHK. • antennes male et femelle. - 19. *Pulex irritans* L., profil de l'extrémité de l'abdomen. - f. forceps ; lu. forcipule ; mn. manubrium ; pp. plaque pygidiale ; scap. Soie antépygidiale ; st. VIII. sternite VIII ; st. IX. sternite IX ; 8^e st. stigmatte du segment VIII ; t. VII. tergite VII.

➤ **Appendices du thorax** : Les trois paires de pattes correspondant aux trois segments thoraciques sont articulées avec les pro- méso- et méta-sternites. Les pattes sont formées de cinq parties : la hanche (coxa), fortement élargie, s'articulant avec le sternite ; le trochanter; le fémur, robuste et déprimé, surtout aux pattes postérieures, et conformé pour le saut ; le tibia, moins large, de la longueur du fémur, pourvu d'épines plus ou moins longues, groupées par séries ; le tarse, très long, est formé de cinq articles: le cinquième (distitarse ou onychium) porte deux griffes robustes, recourbées, aiguës, noires, parfois finement dentées en scie sur la face interne, qui présentent à leur base une dent ou protubérance saillante ou un petit arolium en forme de pelote.

I. 8. 1. 3. L'abdomen

Court, très élargi, renferme les organes de la nutrition, de la circulation et de la reproduction. Le tégument est divisé en dix segments circulaires réunis entre eux par une membrane, chaque

segment est lui-même formé de deux parties, une dorsale (tergite) et une ventrale (sternite), également réunies par une membrane pleurale. Le premier segment abdominal n'a pas de sternite correspondant. Huit paires de stigmates placés de chaque côté sur le bord antérieur des tergites. Le segment VIII, plus court que les autres, est généralement caché par le précédent : il est visible sur l'abdomen préparé. L'angle apical du tergite VII porte ordinairement de fortes soies plus ou moins nombreuses et dirigées en arrière (soies antépygidiales ou subapicales) (fig. 19). Le segment IX porte un organe sensoriel tergal formé par une plaque articulée couverte de petits espaces clairs portant chacun une soie fine (pygidium). Cette plaque s'observe dans les deux sexes.

♂. Tergite IX transformé en deux sclérites formant les forceps (clasper) ou crochets génitaux, armés de chètes-épines ou de soies plus ou moins nombreuses. La partie postérieure et latérale se prolonge en baguette chitineuse (manubrium) permettant l'attache, des muscles moteurs du forceps (fig. 19). La partie antérieure porte ordinairement deux longues soies apicales (soies acétabulaires).

Les forceps, diversement conformés, peuvent être caractérisés par des encoches ou des apophyses de formes variées. Ils peuvent porter une branche mobile (forcipule), également de forme variée, armée de soies ou d'épines. Cette branche mobile peut porter une branche accessoire (*Hystrichopsylla*). Le sternite VIII est représenté par une tige plus ou moins courbée portant à la base une apophyse plus ou moins développée et à l'apex une membrane apicale et souvent des soies sensorielles.

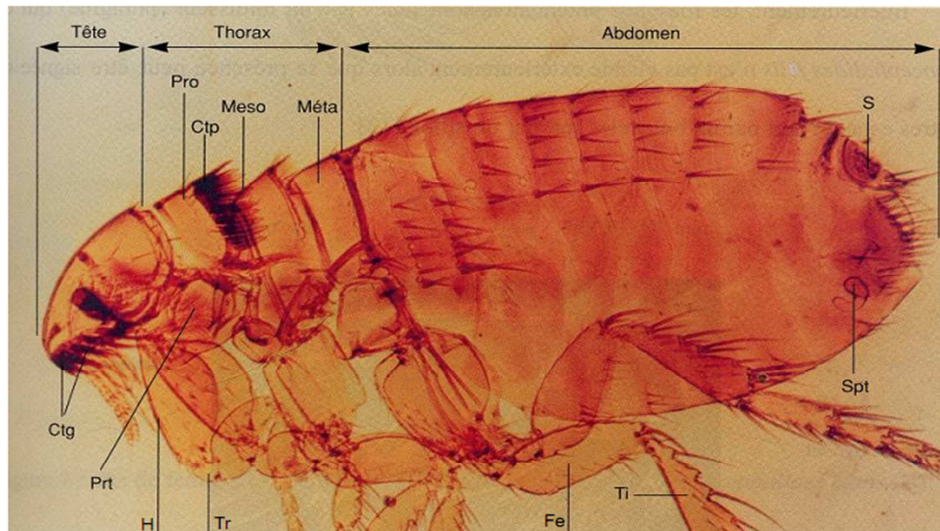
Le sternite IX est ordinairement représenté par une branche coudée à angle droit dont les deux extrémités diffèrent suivant les espèces. La partie verticale interne est plus ou moins dilatée, la partie horizontale externe porte des soies sensorielles.

Tergite X invisible à l'extérieur ; il constitue la plus grande partie des organes péniers que l'on peut observer dans une préparation éclaircie, et qui sont composés d'une fine tigelle allongée, courbée en haut et recouverte par une enveloppe.

♀. Tergite VIII rétréci sur la face dorsale, dilaté latéralement et prolongé dans la direction postéro-ventrale. Les parties latérales de ce tergite sont visibles à l'extrémité postérieure de l'abdomen. Sternite VIII réduit à une plaque peu distincte placée en dessous du tergite.

Tergite IX avec une plaque sensorielle (pygidium) comme chez le mâle. Le style chitineux, conique, saillant, est placé près du pygidium à l'extrémité de l'abdomen. Sternite IX caché par les bords dilatés du tergite VIII. L'orifice génital est placé entre les sternites IX et X.

Tergite X représenté par une petite saillie chitineuse placée en dessous du style ; l'extrémité de cette saillie porte l'anus.



s	: sensillum	Prt	: prosternum
Ctg	: cénidie génale	H	: hanche
Ctp	: cténidie pronotale	Tr	: trochanter
Pro	: prothorax	Fé	: fémur
Méso	: mésothorax	Ti	: tibia
Méta	: métathorax	Spt	: spermathèque

Figure 20 : Vue latérale de *C. felis* (d'après FRANC 1998).

I. 8. 2. Morphologie interne

I. 8. 2. 1. Appareil digestif : L'organe qui correspond à l'ouverture buccale est placé à la base du labre-épipharynx et forme l'orifice de l'extrémité du canal alimentaire. La partie antérieure du tube digestif est représentée par un pharynx, cavité allongée munie de cloisons dorsale et ventrale fortement chitinisées. Le pharynx, armé de muscles puissants, fonctionne comme une pompe permettant d'aspirer le sang de l'hôte.

Il se prolonge par un œsophage allongé, étroit et grêle, qui se termine au proventricule. Les cloisons de ce proventricule sont garnies d'une série de baguettes chitineuses dirigées en arrière, disposition qui semble avoir pour but d'empêcher la régurgitation du contenu de l'estomac lorsque le pharynx est dilaté. L'estomac distendu par le sang pris sur l'hôte occupe la plus grande partie de la cavité abdominale. Près de sa jonction avec l'intestin postérieur, on

trouve les insertions des quatre tubes de Malpighi. L'extrémité distale de l'intestin postérieur présente six papilles rectales semblables à celles que l'on peut observer chez les insectes Diptères (fig. 21).

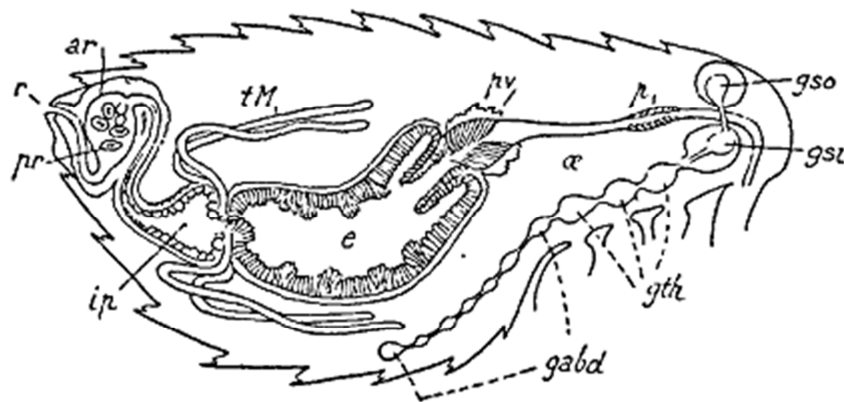


Figure 21 : - Appareil digestif et système nerveux d'une Puce (part. selon FAASCH). - ar. ampoule rectale ; e. estomac ; gabd. ganglions abdominaux ; gth. ganglions thoraciques ; gsi. ganglions infraœsophagiens ; gso. ganglions supraœsophagiens ; ip. intestin postérieur ; α. Œsophage ; p. pharynx (pompe pharyngienne) ; pro papilles rectales ; po. Proventricule ; r. rectum ; tM. tubes de Malpighi.

Les glandes salivaires sont formées par une paire de sacs ovoïdes placés de chaque côté du tube digestif : leurs conduits se combinent pour former un canal commun qui pénètre dans la pompe salivaire, au niveau de la partie inférieure de l'hypopharynx.

I. 8. 2. 2. Système nerveux : Selon MINCHIN (1915), il présente trois ganglions thoraciques et sept ganglions abdominaux chez la femelle du *Ceratophyllus fasciatus*. Le mâle possède huit ganglions abdominaux. Les connexions intermédiaires réduites rapprochent les ganglions les uns des autres.

I. 8. 2. 3. Système circulatoire : Le cœur est étendu sur toute la longueur de l'abdomen.

I. 8. 2. 4. Système respiratoire : Très développé, il communique avec l'extérieur au moyen de dix paires de stigmates, deux paires thoraciques, huit paires abdominales. Les stigmates sont protégés par le bord postérieur des tergites.

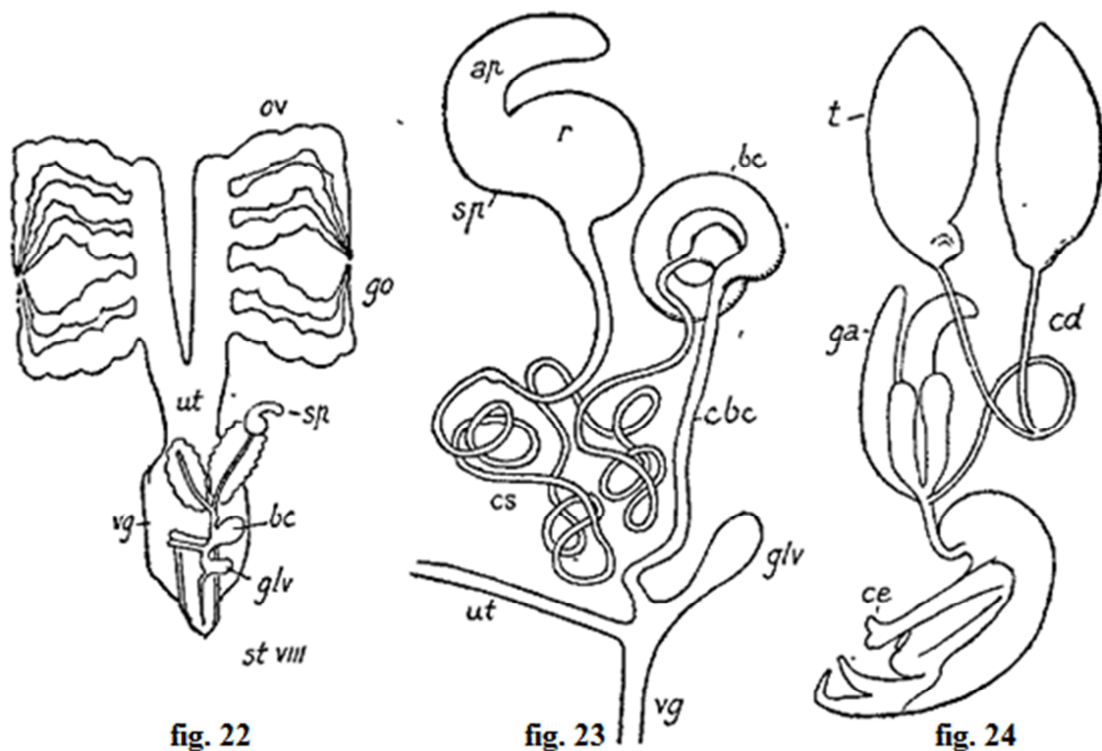


Figure 22 à 24 : - 22. *Ctenocephalides canis* CURT. ♀ appareil génital (modifié d'après LAAS). - 23. *Nosopyllus fasciatus* Bosc ♀, spermathèque et ses dépendances (schém. orig.). -24. *Ctenocephalides canis* CURT. ♂ appareil génital (d'après CHOLODKOWSKY). *ap.* appendice de la spermathèque ; *br.* bourse copulatrice ; *cbc.* canal de la bourse copulatrice ; *cd.* canal déférent des testicules ; *ce.* canal éjaculateur ; *cs.* canal de la spermathèque ; *ga.* glandes accessoires ; *glv.* glande vaginale ; *go.* gaine ovigère ; *ov.* Ovaire ; *r.* réservoir de la spermatheque ; *sp.* spermathèque ; *st. VIII.* sternite VII ; *t.* testicule ; *ut.* Utérus ; *vg.* vagin.

I. 8. 2. 5. Organes reproducteurs. - Chez la femelle ils comprennent une paire d'ovaires formés chacun de 4-6 ovarioles panoistiques. Le vagin présente une poche copulatrice dorsale ; son conduit est lié à la base avec une glande accessoire et sur son trajet avec le canal commun, on observe deux organes glandulaires. Ces derniers ou un seul se terminent par un réceptacle séminal (spermathèque) (souvent visible chez les puces rendues transparentes par un traitement quelconque), dont la forme variable peut fournir un caractère distinctif important.

C'est un organe chitineux sphérique, allongé ou tordu, de couleur sombre, situé au niveau des segments VII et VIII ; il est formé de deux parties, un réservoir et un appendice.

Les organes génitaux mâles consistent essentiellement en une paire de testicules fusiformes dont le contenu est évacué par des canaux très fins. Ces deux derniers se réunissent pour former un conduit unique s'ouvrant dans une petite vésicule séminale. Le canal éjaculateur est associé à une armature copulatrice externe de forme compliquée. A son origine se trouvent deux paires de glandes accessoires.

Pendant l'accouplement, la femelle se place au-dessus du mâle, comme chez les *Boreus*. Les antennes des mâles peuvent être utilisées comme organes sensoriels et peut-être de contention pendant le rapprochement des sexes.

A. L'appareil génital mâle

D'anatomie complexe, cet appareil peut être décrit de manière simplifiée en trois secteurs:

- Le secteur interne comporte l'essentiel des organes péniens (issus du tergite X) et une paire de testicules fusiformes. Leurs canaux déférents, très fins, se réunissent dans une vésicule séminale.
- Le secteur externe dérive essentiellement du tergite IX, ce dernier se divisant en deux parties:
 - 1) Caudalement, les pinces copulatrices portent sur les deux branches qui les composent (une fixe, le basimère et une mobile, le télomère) des soies plus ou moins longues, ainsi qu'un crochet dans certaines espèces.

Rq : Pinces copulatrices = claspers = forceps = phalosome.

- 2) Latéralement et en avant, le manubrium est une lame chitineuse sur laquelle s'insèrent les muscles moteurs.

Le troisième secteur a une localisation variable puisqu'il s'agit de l'organe intromitteur. Le pénis au repos est logé entre les claspers.

B. L'appareil génital femelle

L'orifice génital s'ouvre, entre les sternites IX et X, sur une chambre génitale précédant le vagin. Dorsalement au vagin, la bourse copulatrice (voir fig. 25) est une glande intermédiaire avant la spermathèque, où a lieu la rencontre ovocyte-spermatozoïdes. Les ovaires, formés de 4 à 8 ovarioles panoïstiques, y sont aussi reliés.

La spermathèque ou réceptacle séminal est le lieu de stockage du sperme et sa forme qui varie peu au sein d'une espèce peut être un critère de diagnose ; il faut alors examiner son réservoir

(ou tête) et son appendice (ou queue). Elle est souvent visible au niveau des sternites VII et VIII.

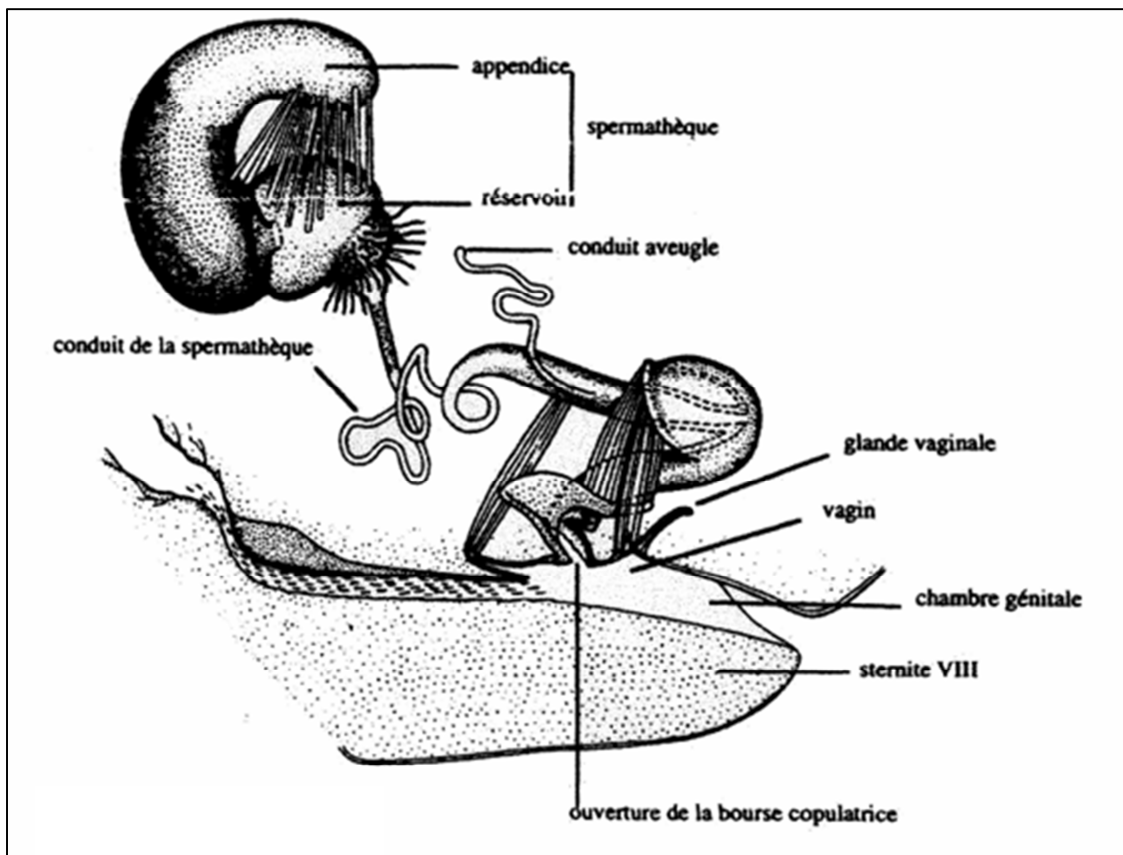


Figure 25 : Appareil génital femelle (Franc, 1998).

Pour conclure ce paragraphe, les 2 figures suivantes font ressortir que l'appareil génital des puces est des plus complexes.

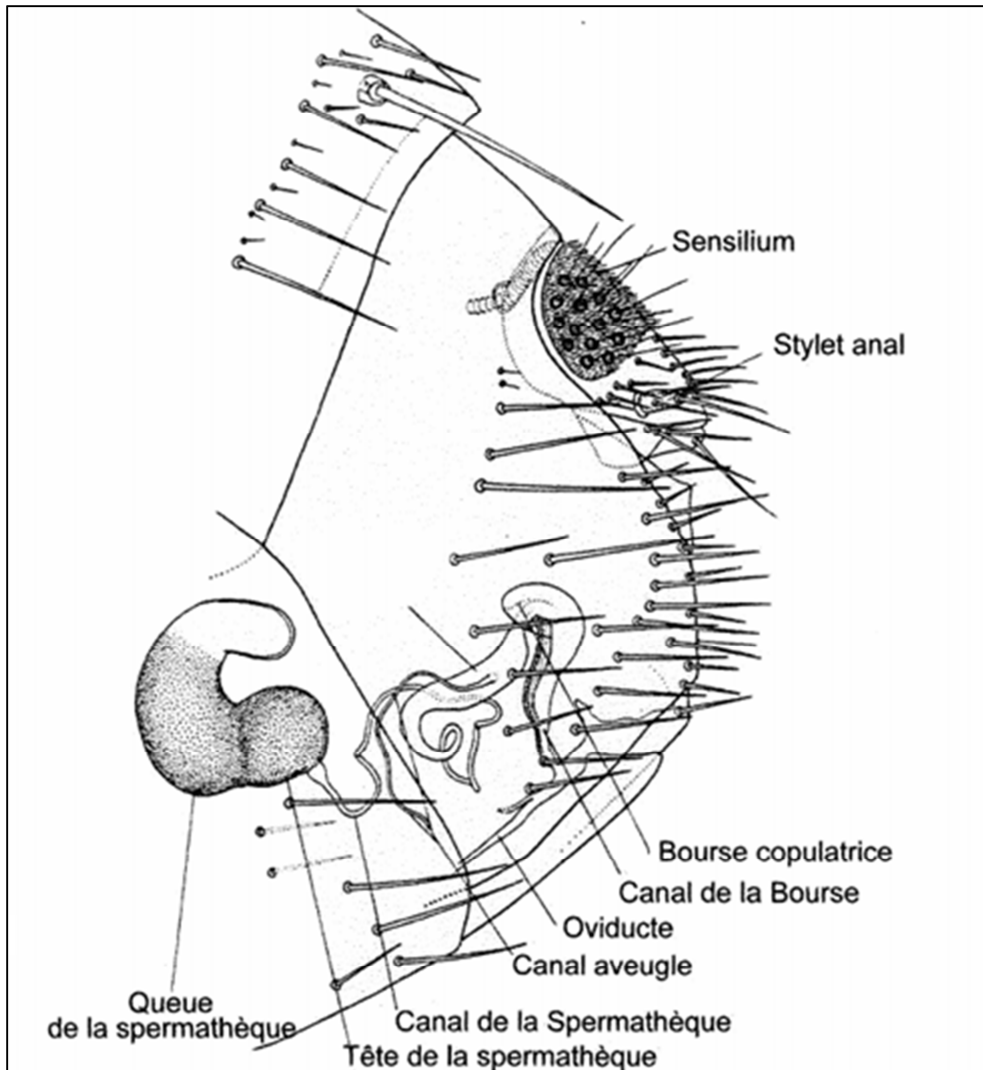


Figure 26 : Appareil génital femelle Xenopsylla cheopis (Smit, 1982).

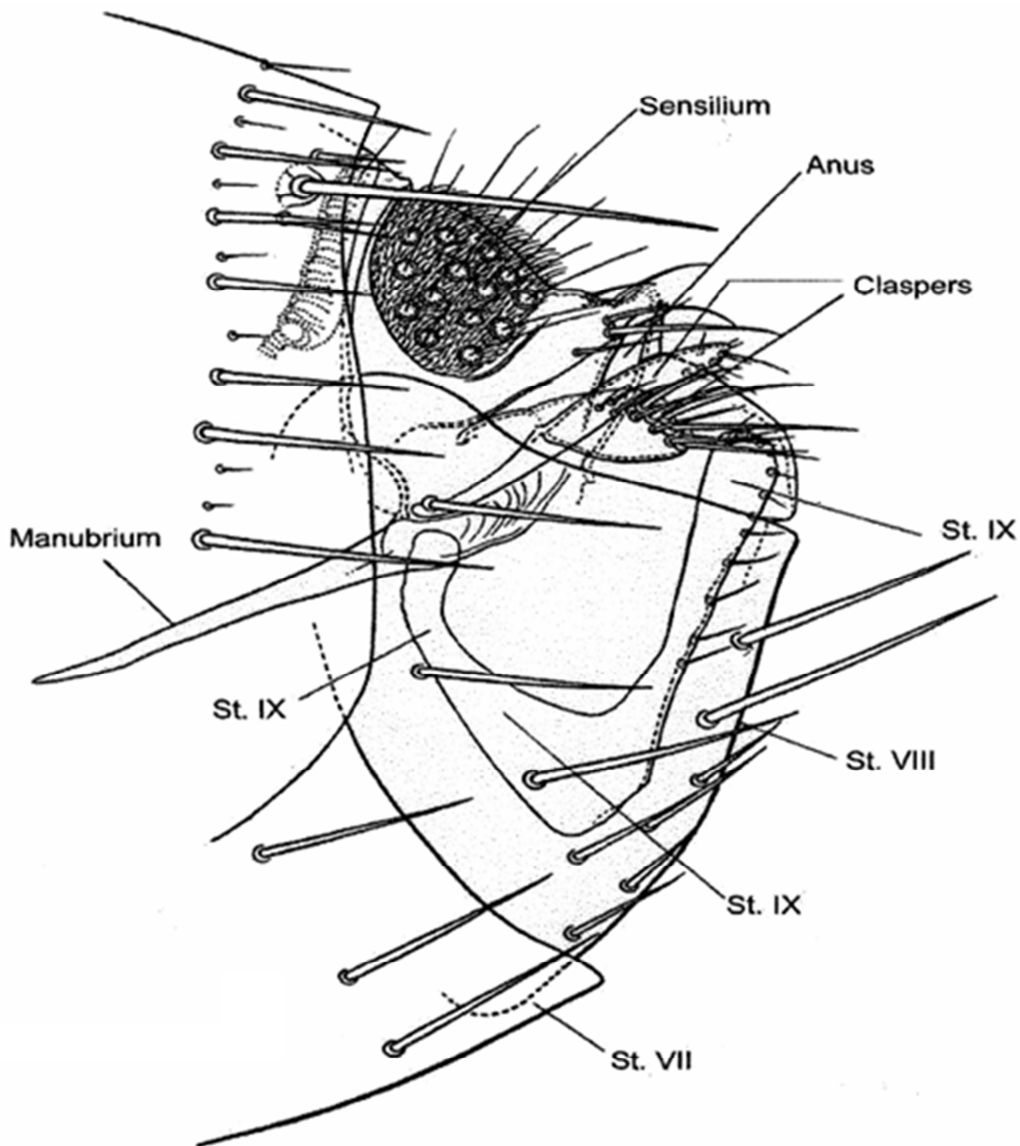


Figure 27 : Appareil génital mâle Xenopsylla cheopis (Smit, 1982).

I. 8. 3. Les grands principes de diagnose

Cette partie ne se veut pas exhaustive puisqu'elle n'envisage que les quelques espèces de puces déjà retrouvées dans des études antérieures.

Les grands critères présentés ici sont issus d'ouvrages faisant références en la matière (Beaucournu, 1973 ; Beaucournu & Launey, 1990 ; Beaucournu & Menier, 1998 ; Grasse, 1951) et représentent simplement les bases de diagnose qui furent utiles à l'analyse de l'échantillon récolté dans cette étude et que nous envisagerons en dernière partie.

I. 8. 3. 1. Diagnose du sexe

La détermination du sexe se fait par la recherche des caractères morphologiques vus dans le paragraphe précédent. Mais à l'œil nu, l'examineur peut déjà avoir une petite idée.

En effet, il existe un dimorphisme de taille en faveur des femelles.

Les contours de l'abdomen sont aussi un point de comparaison entre les sexes. Par exemple, pour le genre *Ctenocephalides*, les mâles ont une face dorsale presque plate et une face ventrale très incurvée tandis que les femelles ont un abdomen aux faces convexes (Kettle, 1984).

Le bombé des capsules céphaliques dans le genre *Ctenocephalides* permet également à un œil plus averti de distinguer les 2 sexes (voir fig. 28).

Envisageons à présent les critères pour chaque espèce:

a) *Ctenocephalides felis felis*

Tout d'abord, *C. felis felis* appartient au complexe *Ctenocephalides felis* regroupant 4 parasites (Franc, 1994) :

1. *Ctenocephalides felis felis* (Bouché, 1835)
2. *Ctenocephalides felis strongylus* (Jordan, 1925)
3. *Ctenocephalides felis damarensis* (Jordan, 1936)
4. *Ctenocephalides felis orientis* (Jordan, 1925).

C. felis felis est l'unique sous-espèce présente en Europe. Cette espèce est qualifiée d'euryxène vu la grande diversité des animaux parasités.

C'est une puce d'environ 2 à 4 mm pour les femelles, portant une tête allongée (deux fois plus longue que large) munie de deux cténidies génale et pronotale (fig. 28).

Le peigne génal est caractéristique par sa première dent qui est presque aussi longue que la 2^{ème} ; la 2^{ème} et la 3^{ème} étant subégales.

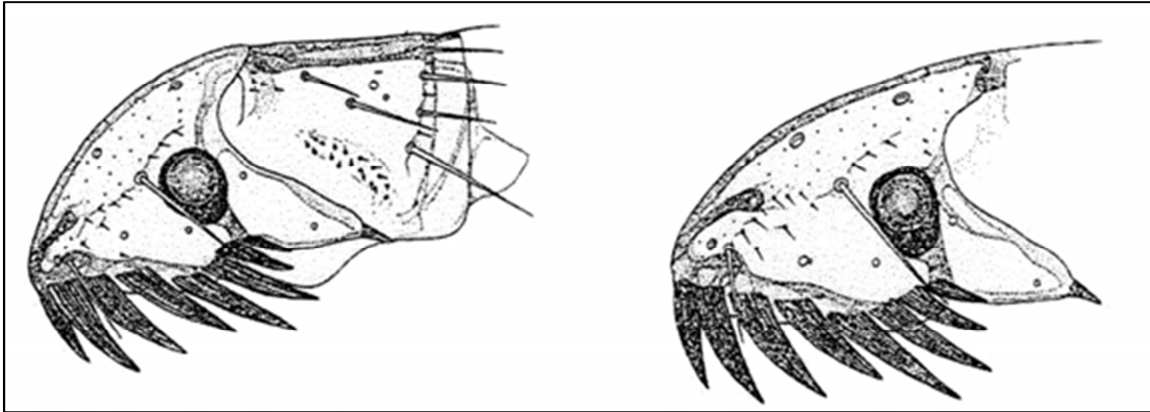


Figure 28 : Capsules céphaliques *Ctenocephalides felis felis* mâle femelle
(Beaucournu & Menier, 1998)

L'élément de diagnose au niveau du thorax se situe sur le métépisternite qui porte 2 grandes soies, ce critère est important dans la différenciation avec *C. canis*.

L'autre point essentiel à aborder est l'anatomie du tibia de la patte III : sur son bord postérieur de nombreuses soies plus ou moins longues sont groupées au niveau d'encoches. Leur nombre doit être de 26 ou 27, dans l'espèce qui nous intéresse.

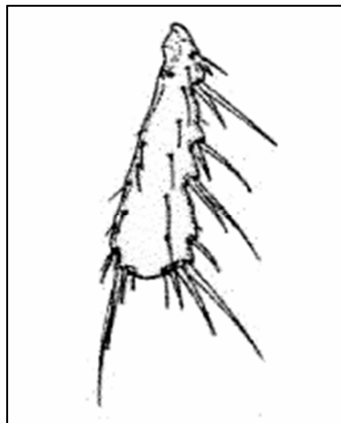


Figure 29 : Tibia III de *C.felis* (Beaucournu & Launay, 1990)

b) *Ctenocephalides canis*

Dans le monde, il s'agit de la seconde espèce la plus rencontrée sur le chat. La morphologie générale est très proche de *C. felis* notamment *C. felis strongylus* et *orientis*, mais la confusion n'est possible qu'avec *C. felis felis* d'après la répartition géographique des différentes espèces.

D'après Stiles & Collins, 1930, les deux espèces sont séparables sur la réunion d'au moins deux des critères suivants :

Tableau 01 : Critère de diagnose *Ctenocephalides canis* / *Ctenocephalides felis felis*.

<i>Ctenocephalides canis</i>	<i>Ctenocephalides felis felis</i>
1 ^{ère} dent moitié plus courte que la 2 ^{ème} 2 ^{ème} plus courte que la 3 ^{ème}	1 ^{ère} dent presque aussi longue que la 2 ^{ème} 2 ^{ème} et 3 ^{ème} subégales
Métépisternite avec 3 soies	Métépisternite avec 2 soies
Huit encoches sur le tibia III	Sept (ou six) encoches sur le tibia III

De manière plus fine, le manubrium chez les mâles et la spermathèque chez la femelle sont distinctifs dans les deux espèces.

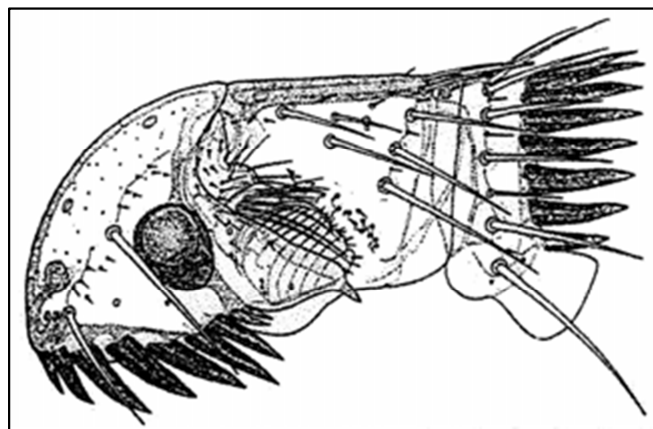


Figure 30 : Capsule céphalique de *C. canis* (Beaucournu & Launay, 1990)

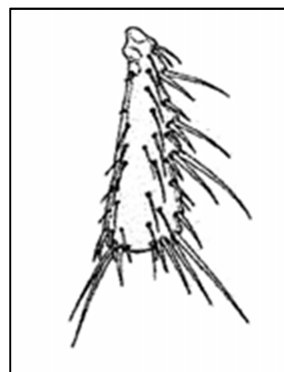


Figure 31 : Tiba III de *C. canis* (Beaucournu & Launay, 1990)

a) *Spilopsyllus cuniculi*

Cette puce dont l'hôte primaire est le lapin de garenne *Oryctolagus cuniculus* se reconnaît principalement en examinant sa tête de forme anguleuse.

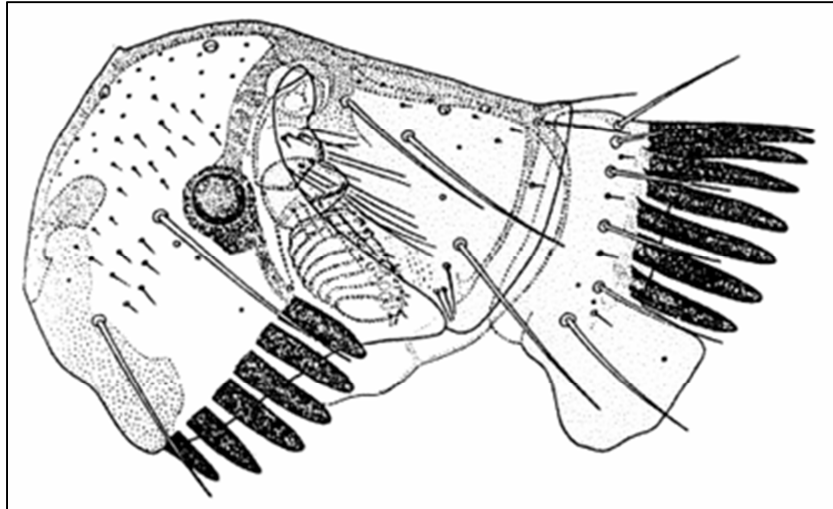


Figure 32 : Capsule céphalique de *Spilopsyllus cuniculi* (Beaucournu & Launay, 1990)

Elle porte des cténidies génale et pronotale bien développées et un palpe labial bisegmenté. Les antennes sont symétriques, ce qui caractérise la sous famille des Spilopsyllinés au sein des Pulicidés.

b) *Ceratophyllus sp*

La famille des Cératophyllidae est la plus importante avec près de 73 genres et 805 taxa (Smit, 1982).

Parasitant principalement des oiseaux, les *Ceratophyllus sp* sont des puces de nid.

Un représentant de l'espèce *Ceratophyllus gallinae* a déjà été retrouvé en Allemagne sur un chat, en 1985 (Liebisch *et al.*, 1985).

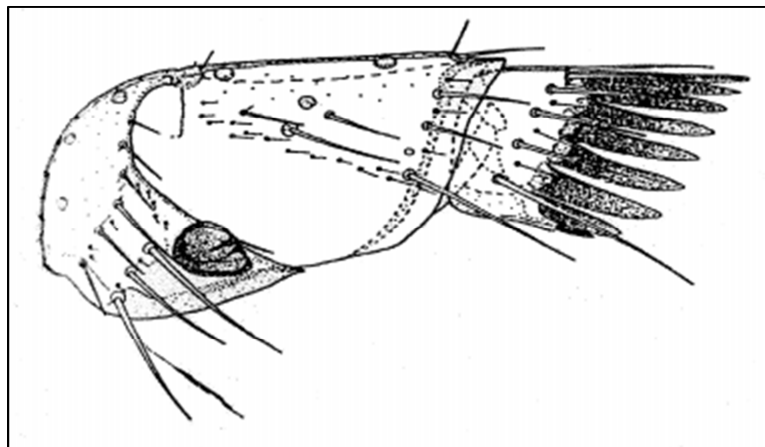


Figure 33 : Capsule céphalique de *Ceratophyllus sp* (Beaucournu & Launay, 1990)

c) *Xenopsylla cheopis*

Puce du rat, elle se caractérise par l'absence de cténidies génale et pronotale et par la présence d'une soie oculaire prenant naissance devant l'œil.

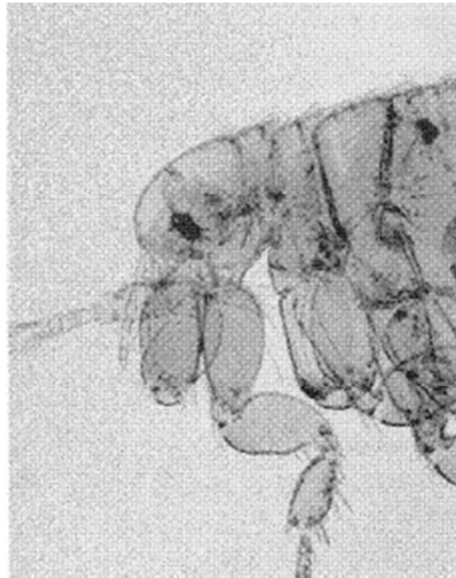


Figure 34 : *Xenopsylla cheopis* (Franc, 1998)

d) *Pulex irritans*

D'après Beaucournu & Launay, (1990), cette puce cosmopolite, qui peut être retrouvée sur l'homme, se reconnaît par l'association des caractères suivants :

- Front arrondi
- Œil bien développé
- Cténidies génale réduite à une seule dent (parfois absente)
- Cténidie pronotale absente.

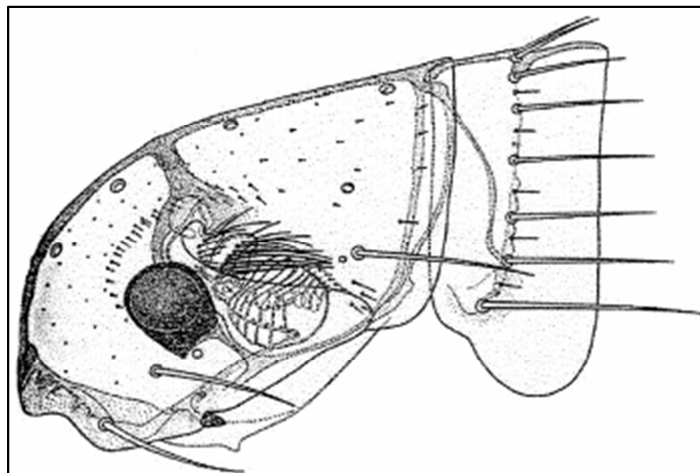


Figure 34 : Capsule céphalique de *Pulex irritans* (Beaucournu & Launay, 1990)

e) *Archaeopsylla erinacei*

Parasite du hérisson, elle est séparable de toutes les puces paléarctiques car elle ne porte que des cténidies céphaliques vestigiales avec :

- une à trois dents de chaque côté sur les cténidies génales
- Zéro à neuf dents pour l'ensemble du peigne du prothorax (Guzman, 1984).

La tête est inscrite dans un carré et porte une épine isolée à l'extrémité de la fossette antennaire.

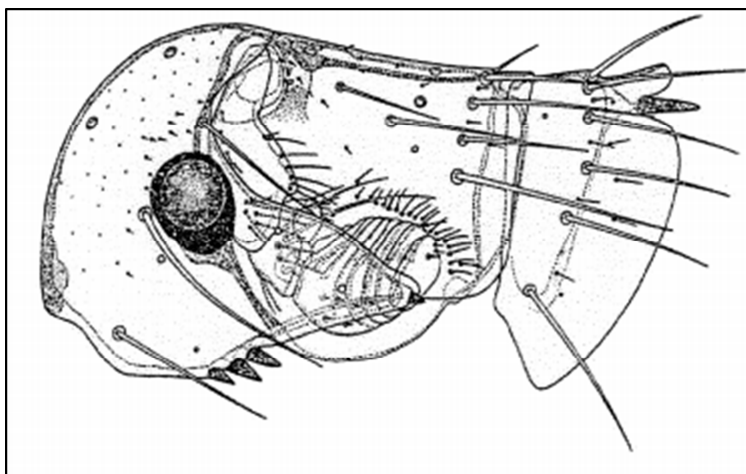


Figure 36 : Capsule céphalique de *Archaeopsylla erinacei* (Beaucournu & Launay, 1990)

Les palpes labiaux sont composés de 4 segments.

Les génitalia et la spermathèque sont également caractéristiques.

f) *Leptosylla segnis*

La sous-famille des *Leptopsyllinae* est essentiellement parasites des rongeurs et secondairement des insectivores. Les puces du sous genre *Leptosylla* sont toutes des puces de fourrure, généralement spécifiques de Muridés.

Leptopylla segnis, qui fut retrouvée dans cette étude, se reconnaît par une cténidie générale de 4 dents et 2 soies spiniformes frontales. Il s'agit d'une puce avec une bonne spécificité pour *Mus domesticus* et *Rattus rattus* et peut être soit selvatique soit synanthrope en fonction de l'habitat de son hôte.

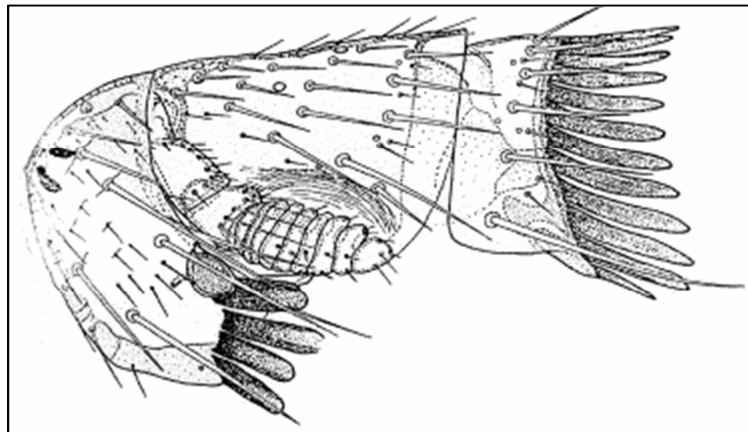


Figure 37 : Capsule céphalique de *Leptosylla segnis* (Beaucournu & launay, 1990)

I. 8. 4. Clés de diagnose des principales espèces

Absence de cténidies

- Thorax dorsalement plus court que le premier segment abdominal, pas de baguette verticale sur le mésothorax, front anguleux :
- angle antérieur de la tête très proéminent : *Tunga penetrans*.
- angle antérieur de la tête peu proéminent : *Echidnophaga gallinacea*.
- Thorax dorsalement plus long que le premier segment abdominal :
- pas de baguette verticale sur le mésothorax, front arrondi, une soie en arrière de la tête : *Pulex irritans* (Figure 25).
- présence d'une baguette verticale sur le mésothorax, front arrondi, une dizaine de soies disposées en V en arrière de la tête : *Xenopsylla cheopis* (Figure 26).

Une cténidie prothoracique

- Front arrondi avec petit tubercules, trois soies en avant de l'œil : *Nosopsyllus fasciatus*.

- Front arrondi sans tubercule, nombreuses soies en avant de l'œil : *Ceratophyllus gallinae*.

Une cténidie prothoracique et une cténidie céphalique.

- **Cténidie céphalique horizontale formée de huit ou neuf épines**

- front fortement convexe, épine antérieure de la cténidie frontale moitié moins longue que les suivantes, huit encoches avec soie sur la partie postérieure du tibia : *Ctenocephalides canis* (Figure 27 et 28).

- front fuyant, épine antérieure de la cténidie frontale aussi longue que les suivantes, six encoches avec soie sur la partie postérieure du tibia : *Ctenocephalides felis* (Figure 29).

- Cténidie céphalique oblique, front avec tubercule : *Spilopsyllus cuniculi* (Figure 30).

- Cténidie céphalique verticale formée de quatre épines : *Leptopsylla segnis*.

CHAPITRE II

CHAPITRE II

II. 1. Introduction

Les mammifères sont des hôtes d'un très grand nombre d'ectoparasites (ex. puces, poux, tiques, Diptères) présentant un grand intérêt à la fois d'un point de vue médical et scientifique. Ils sont, en effet, vecteurs de plusieurs microorganismes pathogènes pouvant être à l'origine de graves maladies chez l'être humain, chez les animaux d'élevage et de compagnie (Durden *et al.*, 2004). Les ectoparasites trouvés chez les micromammifères sont considérés aussi comme des modèles pertinents pour des études en écologie des communautés et en biogéographie. En plus d'être relativement bien connus, ils peuvent être manipulés expérimentalement et leurs hôtes sont assez faciles à capturer (Lundqvist & Brinck-Lindroth, 1990).

Les Siphonaptères, Aphaniptères, Suceurs ou Puces, comprennent les Insectes de petite taille (0,8-6 mm), aptères, à corps comprimé latéralement, toujours ectoparasites à l'état adulte, suceurs de sang sur les vertébrés, principalement sur les mammifères et les oiseaux (Séguy, 1944).

Environ 2500 espèces et sous-espèces avaient été décrites à la fin du XXe siècle (Lewis 1998) et plus de 200 genres dont la plupart se regroupent dans 17 familles et 2 super-familles: les *Pulicoidea* (deux familles: *Tungidae* et *Pulicidae*) et les *Ceratophylloidea* (15 familles). Ce sont des ectoparasites de Mammifères et plus rarement d'oiseaux, les adultes mâles et femelles sont hématophages et ont la faculté de sauter. Le parasitisme des puces est obligatoire. Cependant, si leur situation en tant qu'ectoparasite peut être permanente, elle n'est le plus souvent qu'occasionnelle (Duchemin *et al.*, 2006).

On les reconnaîtra à certains caractères morphologiques tels que les antennes courtes et fortes placées dans une dépression, ou repli du tégument, formant gouttière. Pièces buccales conformées pour percer et sucer ; .palpes labiaux et maxillaires présents. Thorax avec trois segments distincts. Hanches très grandes ; tarses formés de cinq articles. Larve allongée, éruciforme et apode. Nymphe immobile ou peu mobile, enfermée dans un cocon soyeux.

Les Siphonaptères se distinguent immédiatement des autres Insectes ectoparasites aptères par leur corps aplati latéralement au lieu d'être comprimé dorso-ventralement. Ils constituent un

ordre complètement séparé de tous les autres et dont il est actuellement difficile de soupçonner l'origine. On a voulu y voir un sous-ordre des Diptères, surtout à cause des larves et des habitudes vulnérantes des adultes. On les a rattachés à certains Coléoptères Staphylinides Oxytélines. TILLYARD puis LAMEERE admettent que les Siphonaptères représentent une forme aptère spécialisée des Mécoptères. En réalité, l'absence de toutes traces d'ailes ou d'organes homologues dans les différentes périodes de leur existence, la structure générale du corps, simplifiée pour certains organes, hautement spécialisée pour d'autres, aussi bien chez la larve que chez l'adulte, ne donnent aucune indication phylogénétique (Séguy, 1944).

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail sur les puces des animaux sauvages et domestiques, qui feront l'objet d'une étude plus détaillée. L'objectif de ce travail est d'identifier les espèces trouvées ainsi que caractériser leur dynamique d'apparition durant toute notre période d'étude (deux années).

II. 2. MATERIELS ET METHODES

II. 2. 1. Description de la zone d'étude

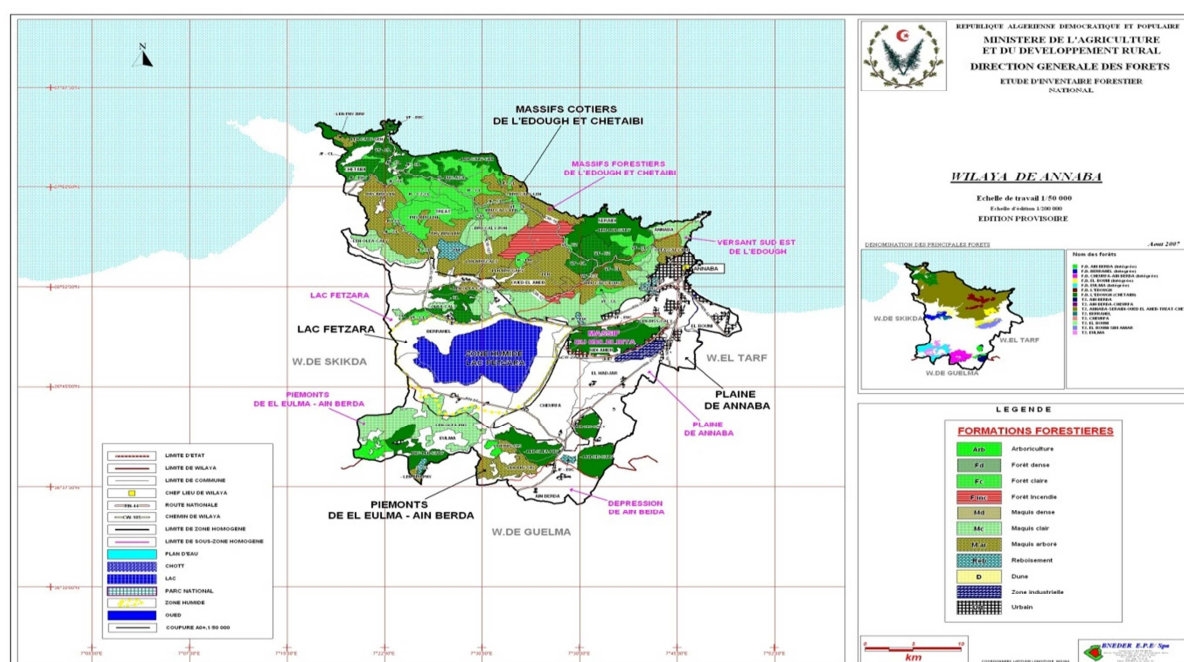


Figure 38 : Carte de la wilaya d'Annaba (Algérie) notre zone d'étude (Direction générale des forêts année 2007).

L'étude a été menée dans deux différents habitats (milieu urbain et milieu rural) de la Région d'Annaba (Figure 38). Les deux fragments se situent dans un périmètre de 30 km et appartiennent à une même région biogéographique. Les informations relatives à la surface des sites et à l'occupation du sol ont été obtenues à partir des données polygonales recueillies avec le logiciel Google Earth 6.2.2 (version 2012).

La wilaya de Annaba est située à 600 km de la capitale (Alger), à l'extrême Est du pays. Elle est ouverte sur 80 km du littoral méditerranéen et s'étend sur 1 439 km² soit 0,06% du territoire national. Elle est limitée géographiquement au Nord par la Méditerranée, au Sud par la wilaya de Guelma à l'Est par El Taref et à l'Ouest par la wilaya de Skikda. Son relief est constitué principalement de :

- Montagnes à vocation forestière : 52,16%
- Collines et piémonts : 25,82 %
- Plaines : 18,08%

La région est richement arrosée (650 à 1000 mm/an), sa température moyenne est de 18°C. Elle possède un lac (Fetzara) classé site Ramsar depuis le 4 juin 2003, qui couvre 20.900 ha et Oued Seybouse, long de 255 km, y trouve son embouchure. Elle est organisée

administrativement en 12 communes et 6 daïrate (sous préfectures) : Annaba, Seraïdi (notre site de travail), El-Bouni, El-Hadjar, Sidi Ammar, Ain Berda, Cheurfa, El-Eulma, Berrahal, Oued El-Aneb, Tréat, Chetaïbi. Elle abrite près de 585 000 habitants, soit 415 hab/km².

Ses côtes s'étalant sur 80 km sont halieutiques, et la biomasse y est estimée à quelque 30.000 tonnes. Les opportunités du secteur de la pêche sont multiples. À promouvoir notamment, la transformation et la conservation, l'élevage aquacole, l'artisanat et le tourisme marin.

Le sous-sol offre des ressources appréciables quant aux roches sédimentaires, dans les régions de Seraïdi et Chetaïbi notamment. Ses forêts se prêtent à une activité sylvestre, surtout pour le liège (30.000 Qx/an) et le bois d'eucalyptus (20.000 tonnes/an). Elles couvrent près de 75 500 ha dont 15 000 ha de chêne-liège et conviennent parfaitement à l'activité touristique. Le potentiel agro-pédologique représente près de 58 600 ha, notamment localisé dans les plaines de la Seybouse et du lac Fezzara. Près de 58% des terres cultivables se situent dans les zones de piémont (38 700 ha de S.A.U).

II. 2. 2. Descriptions du site forestier étudié

II. 2. 2. 1. L'Edough

L'Edough est un massif forestier culminant à plus de 1000 m d'altitude. La chaîne montagneuse s'étend de la presqu'île du Cap de Garde jusqu'au massif du Cap de Fer. Le point le plus haut du massif de l'Edough, culminant à 1008 m d'altitude, est le mont Bou Zizi appelé par les anciens le Kef Sbaâ (rocher du lion). Sur les hauteurs du massif se trouve Seraïdi, un village forestier situé à 850 m d'altitude et à peine 12 Km d'Annaba. L'itinéraire, abrupt et hélicoïdal, traverse une forêt de chênes-lièges avec un frais sous-bois de fougères aux côtés desquelles poussent des fruits et légumes dont la renommée est proverbiale. Mais, le plus souvent, domine un maquis de genêts associés par endroit à d'autres essences tels que des chênes vert, chênes zèen, châtaigniers, noyers, oliviers, figuiers de barbarie, eucalyptus ou encore pins et sapins (Marre, 1987).

A proximité de la ville d'Annaba. Le massif de l'Edough qui est un massif cristallin faisant partie des plis numidique d'Afrique du nord ; caractérisé par trois unités géologiques : un bloc cristallin de gneiss au sud-est, une masse d'argiles et de grés de Numidie au centre et des affleurement de roches éruptives de la région du Cap de fer et de Chetaïbi, il culmine à 1008 m (Thomas, 1975).

Le relief de la région se caractérise par un pendage important; disséqué par un chevelu hydrographique dense, alimenté par une pluviométrie abondante en période hivernale. Dans cette environnement, la station d'étude s'inscrit dans la vaste forêt de Chêne zeen du l'édough. Le Chêne zeen est une espèce marcescente essence. Elle constitue un peuplement forestier homogène sur des superficies relativement étendues, elle a une superficie d'environ 800 ha.

Le zéenaie de l'édough se caractérise par son aspect primitif, accentué par la présence de nombreux arbres morts à terre ou sur pied; recouvert de mousses et lichens. La strate arborée est mono spécifique avec quelques chênes lièges en concurrence avec le chêne zéen dans les endroits les plus défavorables. La hauteur moyenne des arbres varie entre 20 et 30 m avec une moyenne de 17.60 m et un recouvrement au sol qui varie de 60 à 80 % avec une valeur moyenne de 68 %. Cette station, située à une altitude moyenne de 958 m, a un sous-bois peu développé; il se caractérise par la présence de *Cytisus triflorus*, *Rubus ulmifolius*, *Rosa canina*, *Crataegus monogyna*,... Les liannisants très présents sont présentée par *Hedera helix* et *Smilax aspera*. Le sous-bois a un recouvrement au sol très hétérogène, variant de 1 à 50% pour une moyenne de 22% et une hauteur moyenne de 1m. La strate herbacée est représentée par des espèces sciaphiles telles que *Pteris aquilina*, *Osmunda regalis*; des graminées, des composées et quelques pieds d'Asphodèles. Son développement printanier est important. Il s'effectue juste avant le débourrement des arbres et conduit alors à un recouvrement de 63% en moyenne. Cette strate est vite consommée par de nombreux troupeaux de bovins et ovins (Benyacoub, 1993).

II. 2. 3. Caractéristiques climatiques de la zone d'étude

Il semble que le climat algérien n'ait pas fondamentalement changé depuis la période historique. Un climat de type méditerranéen règne dans la région ; plusieurs paramètres le caractérisent et l'influencent :

II. 2. 3. 1. La température : ce paramètre est fonction de l'altitude, de la distance à la mer et de la position topographique (Toubal 1986) ; de manière plus générale, Seltzer (1946) souligne que : «...dans toute l'Algérie (Sahara non compris), la température moyenne est, de novembre à avril, inférieure à la moyenne annuelle ; elle lui est supérieure de mai à octobre...». On peut donc diviser l'année en un semestre froid et un semestre chaud (de Belair 1990).

II. 2. 3. 2. L'humidité de l'air : ce paramètre dont les valeurs sont relativement élevées à proximité du littoral, atteint les valeurs les plus fortes au levé et au coucher du soleil et, habituellement, dans les mois les plus froids (janvier et décembre) .Cette humidité élevée de l'air, même en période estivale, explique que la région puisse être plongée dans un voile de brume ; véritable compensation pour les végétaux ne bénéficiant presque d'aucune précipitation durant l'été.

II. 2. 3. 3. Les vents : jouant un très grand rôle dans la région, ils sont relativement stables depuis le Quaternaire récent ; les plus violents sont ceux du Nord-est souvent liés aux pluies d'équinoxes, qui apportent les précipitations les plus importantes venues de l'Atlantique, lorsque les hautes pressions du large des Açores ont cédé le pas aux basses pressions venues de l'Atlantique. A l'opposé, le sirocco qui souffle du Sud-est principalement en été, assèche l'atmosphère et favorise, avec les températures élevées les incendies de forêts (de Belair 1990).

II. 2. 3. 4. La pluviosité : elle est conditionnée par les perturbations cycloniques d'origine atlantique de l'Ouest et du Nord-est, et les dépressions qui prennent naissance en Méditerranée occidentale, généralement centré dans le périmètre du golfe de Gêne-Corse-Sardaigne. Ce second phénomène n'affecte, en général, que la partie orientale du Tell algérien et est à l'origine de son statut de région la plus humide d'Algérie (Benyacoub 1993). Seltzer (1946) remarque que les pluies qui tombent en Algérie étant pour la plus part d'origine orographique ; cependant, on note une diminution de l'intensité des précipitations d'ouest en est du à l'importance de l'ombre hydrique du massif de l'Edough, ce dernier a pour effet de bloquer partiellement les pluies cycloniques de l'hiver (de Belair 1990). Le tableau suivant permet d'en évaluer la variation.

II. 2. 4. Description des modèles biologiques

II. 2. 4. 1. Modèles hôtes

Quatre modèles hôtes ont été choisis, séparé en deux domestiques (chiens, chats) et deux sauvages le rat noir (*Rattus rattus*) et le hérisson (*Atelerix algirus*). Pour la collecte des puces sur chiens et chats, différentes habitations de différents endroits ont été ciblées, des pièges ont été installés pour la capture des rats et des hérissons et cela tout le long de nos mois d'étude qui s'étalent sur une période de deux années (du mois de janvier 2010 jusqu'à décembre 2011).

II. 2. 4. 2. Modèles parasites

Les carnivores domestiques peuvent être infestés par plusieurs espèces de puces : *Ctenocephalides felis*, *Ctenocephalides canis*, *Pulex irritans*, *Archeopsylla erinacei...* etc

Dans plus de 90% des cas, c'est la puce du chat (*Ctenocephalides felis*) qui est retrouvée sur les carnivores domestiques. Plus rarement, des puces de rongeurs, de petits carnivores ou insectivores sauvages, peuvent être observées (Savary de Beauregard, 2003).

La puce est l'ectoparasite le plus courant infestant les carnivores quelque soit leur mode de vie, rural ou urbain. Elle s'est adaptée à l'environnement extérieur comme aux maisons, et peut donc s'observer tout au long de l'année avec une plus grande infestation du printemps jusqu'à l'automne.

II. 2. 5. Diagnose du sexe

La détermination du sexe se fait par la recherche des caractères morphologiques des puces. Mais à l'œil nu, l'examineur peut déjà avoir une petite idée.

En effet, il existe un dimorphisme de taille en faveur des femelles (Kettle, 1984) : Les contours de l'abdomen sont aussi un point de comparaison entre les sexes. Par exemple, pour le genre *Ctenocephalides*, les mâles ont une face dorsale presque plate et une face ventrale très incurvée tandis que les femelles ont un abdomen aux faces convexes. Le bombé des capsules céphaliques dans le genre *Cténocéphalides* permet également à un œil plus averti de distinguer les deux sexes.

II. 2. 6. Échantillonnage, protocole et prélèvements

Les missions de piégeage ont été menées durant deux années entre le mois de Janvier 2010 jusqu'à décembre 2011. Tous les sites et stations ont été visités deux fois tous les mois en moyenne. Lors de l'échantillonnage, il nous a paru nécessaire de prendre en compte les différents comportements des puces et ce selon les cas : pour ce faire nous avons visé pour une espèce donnée, soit les terriers, soit les hôtes. Les puces sont récoltées en utilisant leurs réflexes de fuite. En brossant ou en soufflant sur le pelage, les puces dérangées sautent hors de l'hôte et peuvent être prélevées à la pince (Baltazard & Eftekhari, 1957). Si l'hôte est sacrifié, la chute de température du corps de l'animal va entraîner aussi le départ des puces de manière plus ou moins précipitée selon les espèces. Un plateau entouré d'eau les

immobilisera avant conservation. Il est indispensable de connaître les habitudes des mammifères de la zone échantillonnée.

Il est également possible de récolter les puces de terriers. Une méthode drastique consiste en l'excavation du terrier et la récolte des poussières et terres des différentes zones du terrier. Plus facilement, on peut récolter les puces en liberté en employant la technique de Nuttall, cette méthode consiste à traîner lentement un drapeau (2m²) de tissu clair et de texture molletonnée sur le sol et à récupérer à intervalles réguliers les puces qui y sont fixées. Il est possible d'obtenir, au sein de la terre et des poussières, des stades larvaires ou des nymphes par tri sous loupe. Elle ne permet pas de récupérer toutes les puces présentes, mais possède l'avantage de permettre une évaluation de la densité de la population en comparant les collectes sur des surfaces, des distances et des vitesses standardisées. Pour l'interprétation des résultats, un autre facteur important est que le drapeau doit avoir la même texture et les mêmes dimensions durant toute l'étude (L'Hostis *et al.*, 1995).

Il est également possible de récolter des puces par balayage des poussières de maisons ou dans les endroits où se reposent les animaux domestiques. Une source lumineuse (lampe torche, bougie), peut être utilisée pour attirer les puces d'une pièce et les récolter dans une assiette remplie d'eau. Les espèces ne répondent pas toutes de la même manière à ce type de piège (Duchemin *et al.*, 2006).

Les puces prélevées sont fixées dans des flacons à fermeture hermétique en y ajoutant de l'alcool éthylique à 70° et étiquetés avec les mentions : Numéro d'ordre de l'échantillon, station, date de récolte, hôte et localisation du prélèvement sur l'hôte.

Les échantillons sont acheminés au laboratoire d'entomologie de l'institut Pasteur de Tunis (en Tunisie) pour l'identification des espèces.



Figure 39 : Stockage des échantillons (photos prise par Madoui).

II. 2. 7. Influence des facteurs écologiques sur les puces

La dynamique saisonnière des puces exerce une influence majeure sur la dynamique de transmission des agents pathogènes. Plusieurs facteurs écologiques influencent la survie et le développement des puces, en particulier la température, l'humidité relative et la pluviométrie. La distribution des puces est fortement liée aux facteurs climatiques ; la température est le facteur dynamique essentiel d'organogenèse et d'activité tandis que l'humidité et la pluviométrie sont des importants facteurs de survie qui caractérise le biotope (Morel, 2000).

Dans notre étude, nous nous sommes proposé de préciser l'importance de l'infestation des animaux sauvages et domestiques par les puces, d'étudier le cycle annuel de celles-ci et de mettre en évidence les facteurs écologiques qui le déterminent dans notre région en mesurant la température (T° min, T° max, T° moy), l'humidité relative et la pluviométrie tout au long de notre période d'étude.

II. 2. 8. Identification des puces

Une loupe binoculaire et des clés d'identifications (Beaucournu & Launay, 1990) ont été utilisées pour identifier les espèces de puces trouvées. Au laboratoire on procède d'abord à l'identification du genre puis de l'espèce en utilisant des clés d'identification. Ainsi l'identification du genre est basée sur des caractères de certaines parties du corps de la puce : Massue antennaire symétrique ou asymétrique, l'épaississement pleural du mésothorax (présent ou absent), nombre et présence des cténidies génales et pro-thoraciques, longueur du métathorax et du tergite 1.

L'identification des puces au niveau de l'espèce est principalement basée sur la présence, le nombre et le caractère des épines et des soies, les caractères de la tête et des segments génitaux. Elle est facilitée par l'éclaircissement des spécimens (potasse, soude diluée) et le montage entre lame et lamelle. Des clés d'identification morphologique plus ou moins accessibles sont disponibles selon les régions du monde (Beaucournu & Launay, 1990), (Beaucournu *et al.*, 2005), en ce qui nous concerne nous avons pris des clés d'identifications des puces du bassin méditerranéen.

Enfin, l'identification reste une affaire de spécialiste. D'autre part, le montage définitif entre lame et lamelle «détruit» les puces qu'on aurait voulu utiliser pour la détection ou l'isolement de microorganismes. Certaines techniques d'extraction d'ADN permettent cependant de conserver les caractères morphologiques.

Ces dernières années des outils moléculaires ont été développés pour les études sur la phylogénie des puces. Ces mêmes outils moléculaires peuvent permettre d'aider ponctuellement à identifier les puces par l'analyse des séquences de certains gènes comme celui codant la fraction 18S de l'ARN ribosomal, par exemple pour des stades difficiles (larves, œufs ainsi que certaines femelles d'espèces proches), ou lorsque le matériel est détérioré ou a été utilisé pour l'extraction d'ADN (Bitam *et al.*, 2006), ou pour une identification ponctuelle dans un laboratoire sans entomologiste expérimenté.

II. 2. 9. Méthode d'exploitation des résultats par des indices écologiques

Une première analyse consiste à déterminer les indices classiques en écologie pour chaque groupe ou « guildes » étudié, (John *et al.*, 1995), (soit dans notre cas : les puces). Ces paramètres étudiés sont pour chaque hôte, a) l'abondance ou l'effectif, b) la prévalence, c) l'intensité parasitaire, e) la richesse spécifique, c'est à dire le nombre d'espèces, e) L'indice de Gini-Simpson, f) l'index de Shannon Weaver qui reflète l'équilibre entre les différentes espèces qui peuplent une unité d'échantillonnage. Cet index est égal à la somme des produits

des pourcentages relatifs de chaque espèce par le logarithme de base 2 des mêmes pourcentages et est donc égal à 0 si seule une espèce est retrouvée (Margolis *et al.*, 1982 ; Shannon, 1948 ; Simpson, 1949) :

II. 2. 9. 1. Estimation de la prévalence (Pr)

C'est le nombre des individus parasités (nP) sur le nombre des individus examinés (N)

$$\text{Pr} = \frac{nP}{N} \times 100$$

- “Espèce dominante” (prévalence > 50%)
- “Espèce satellite” ($10 \leq \text{prévalence} \leq 50\%$)
- “Espèce rare” (prévalence < 10%) ont été définis selon **Valtonen *et al.* (1997)**.

II. 2. 9. 2. Intensité moyenne parasitaire (I moy)

C'est le rapport du nombre total d'individus d'une espèce parasite (n) sur le nombre des spécimens infestés (Np).

$$I = \frac{n}{Np}$$

Pour les intensités moyennes (IM), la classification adoptée est celle de (Bilong-Bilong & Njiné, 1998) :

- $IM < 10$: intensité moyenne très faible.
- $10 < IM \leq 50$: intensité moyenne faible.
- $50 < IM \leq 100$: intensité moyenne moyenne.
- $IM > 100$: intensité moyenne élevée.

II. 2. 9. 3. Abondance parasitaire (A)

C'est le rapport de nombre total d'individus d'une espèce parasite (n) sur le nombre total des spécimens examinés (N).

$$A = n / N$$

II. 2. 9. 4. La Richesse spécifique

L'indice le plus simple pour mesurer la biodiversité est le nombre S de catégorie diminué de 1 an qu'une collection comprenant une seule catégorie ait une biodiversité nulle. Cet indice s'écrit :

$$H_r = S - 1,$$

II. 2. 9. 5. L'indice de diversité

II. 2. 9. 5. 1. Indice de Shannon

Shannon (Shannon, 1948) a développé son indice H_S dans le cadre de la théorie de l'information qui suppose que la diversité peut être mesurée de la même façon que l'information contenue dans un code ou un message. Les indices développés dans le cadre de cette théorie sont qualifiés de fonctions d'entropie. Soient P_K la fréquence de la catégorie K , et $P = (P_1, \dots, P_K, \dots, P_S)$ la distribution de fréquences des catégories, l'indice de Shannon est :

$$H_S(\mathbf{P}) = - \sum_{k=1}^S p_k \ln(p_k).$$

Cette mesure peut être interprétée de plusieurs façons.

- a) L'indice de Shannon mesure la perte d'information due à la perte d'une entité.
- b) L'indice de Shannon est une mesure d'incertitude. Si nous tirons au hasard une seule entité de la collection, l'indice de Shannon mesure l'incertitude que nous avons sur le résultat, c'est-à-dire : quelle catégorie allons-nous tirer?

II. 2. 9. 5. 2. L'indice de Gini-Simpson

L'indice HG-S de Gini-Simpson (Gini, 1918 ; Simpson, 1949) est égal à la probabilité de tirer avec remise dans une collection deux entités appartenant à deux catégories différentes :

$$H_{G-S}(\mathbf{p}) = 1 - \sum_{k=1}^S p_k^2.$$

Gini (Gini, 1918) l'avait suggère comme mesure de diversité écologique. Simpson (Simpson, 1949) propose de nouveau cet indice à partir d'une $\lambda = \sum_{k=1}^S p_k^2$ mesure de concentration qui donne une valeur à la répartition des entités entre les catégories.

II. 3. RESULTATS et DISCUSSION

II. 3. 1. Etude des Peuplements de puces du chat

Dès la sédentarisation de l'homme, 6000 ans avant notre ère, le chat a côtoyé nos habitations. Aujourd'hui, cet animal idolâtré ou chassé a pris une place non négligeable dans beaucoup de foyers. Sa santé est logiquement devenue un sujet de préoccupation, d'autant plus lorsque notre compagnon peut être le vecteur d'insectes, dont la seule vue donne l'envie de se gratter. Les puces, car c'est d'elles dont il s'agit, sont en effet le sujet de cette thèse.

L'identification des insectes envoyés fut réalisée à l'aide des clés de diagnose de Beaucournu & Launay, (1990). Etant donné le nombre élevé de *Ctenocephalides felis* et les ressemblances anatomiques avec *Ctenocephalides canis*, l'identification d'une de ces deux espèces comportait obligatoirement :

- L'examen des dents de la cténidie Génale.
- L'examen du profil frontal.
- Le compte des soies du métépisternite.
- Le compte des encoches sur letibia III.

1667 puces furent prélevées sur 203 chats de tout âge, sexes et races. 4 espèces ont été identifiées avec des taux indiqués dans la figure 40.

1. *Ctenocephalides felis felis* 97,18%
2. *Ctenocephalides canis* 2,1%
3. *Xenopsylla cheopis* 0,5%
4. *Pulex irritans* 0,01%

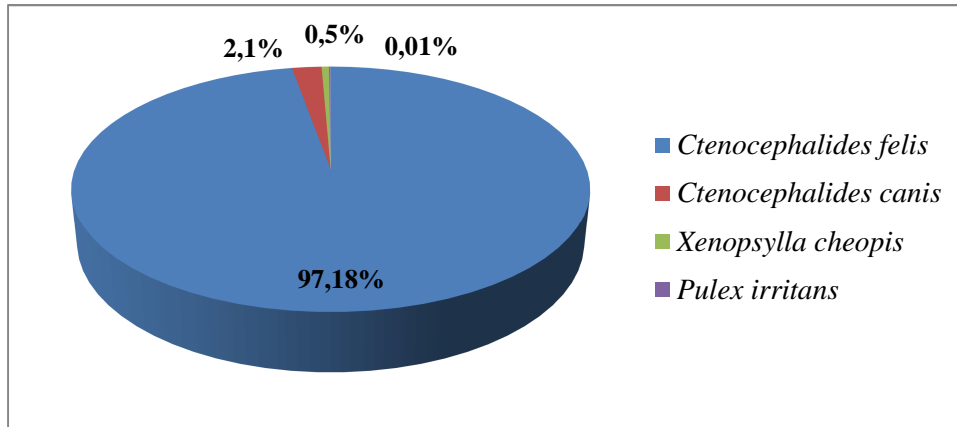


Figure 40 : Répartition des différentes espèces de puces du chat.

La richesse spécifique $H_r = 3$.

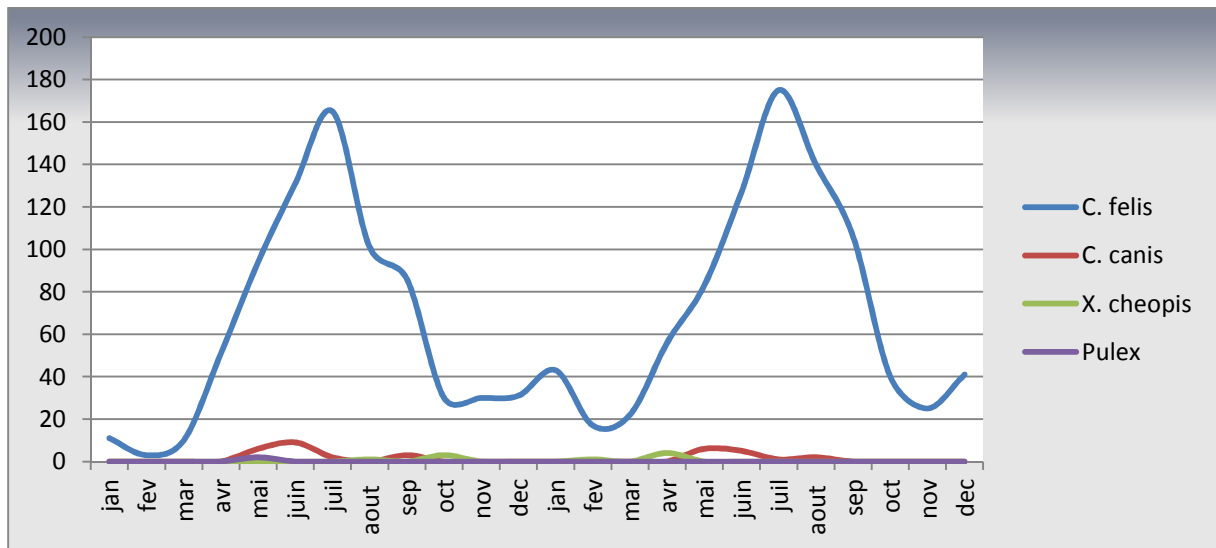


Figure 41 : Répartition temporelle des espèces de puces de chat durant notre période d'étude (2010 – 2011).

C. felis représente 97,18% des puces récoltées. Les indices *C. felis*, que nous avons enregistré sont similaire durant les deux années de notre étude, la courbe annuelle d'abondance est à son sommet durant la saison sèche, en juillet, et son minimum au cours de la saison des pluies, en février. De même que pour *C. canis* qui représente 2,1% des puces, elle est pratiquement absente durant toute la période d'étude sauf pendant la saison sèche et cela durant les deux années (Madoui *et al.*, 2014).

Les autres espèces (*X. cheopis* et *Pulex irritans*) représentent à elles seules moins de 1% des puces récoltées et elles ont été probablement contractées lors des activités de chasse ou par la cohabitation entre l'homme et le chat (Madoui *et al.*, 2014).

Tableau 02: répartition des puces récoltées chez le chat.

Espèce	Nombre de chats	Nombre de puces
<i>Ctenocephalides felis</i>	187	1620
<i>Ctenocephalides canis</i>	11	36
<i>Xenopsylla cheopis</i>	4	9
<i>Pulex irritans</i>	1	2

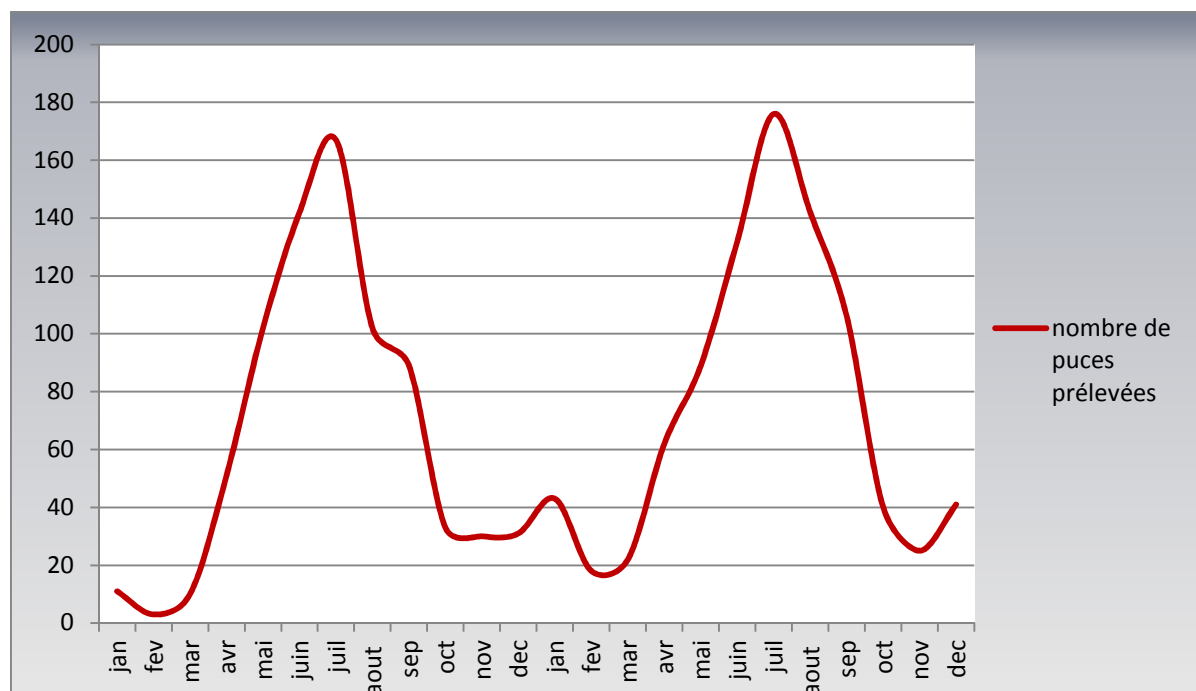


Figure 42 : dynamique d'apparition des puces chez le chat entre 2010-2011.

II. 3. 1. 2. Type d'infestation

Sur chaque animal, de 1 à 24 puces furent récoltées avec une moyenne sur l'ensemble des animaux de 8,21 puces par chat.

92,61% des animaux, soit 188 chats, n'étaient l'hôte que d'une seule espèce de puces ; de manière plus précise, on dénombrait :

- 179 chats porteurs uniquement de *Ctenocephalides felis felis*.
- 9 chats porteurs uniquement de *ctenocephalides canis*.

Les infestations mixtes furent une association de *Ctenocephalides felis* avec l'une des trois espèces suivantes : *Ctenocephalides canis*, *xenopsylla cheopis*, *Pulex irritans*.

Ainsi l'espèce prépondérante est bien *Ctenocephalides felis* avec 187 chats parasités sur 203 soit une prévalence de 92,11%, suivie par *Ctenocephalides canis* 5,41%, *Xenopsylla*

cheopis 1,97% et *Pulex irritans* 0,49% donnant à ses trois derniers le statut d'espèces rares.

II. 3. 1. 3. Intensité moyenne de l'infestation

Si on se réfère aux limites de Bilong – Bilong & Njiné (1998), le paragraphe puces présentes n'a été correctement complété que dans 196 cas, ainsi nous obtenons :

- L'intensité moyenne la plus élevée est celle de *Ctenocephalides felis* avec 8,66 suivie par *Ctenocephalides canis* 3,27, *Xenopsylla cheopis* 2,25 et *Pulex Irritans* 2

Tableau 03: Indices parasitaires des puces du chat.

Hôte	Espèce de puce	Prévalence (P)	Intensité moyenne (IM)	Abondance (Ab)
Chat	<i>Ctenocephalides felis</i>	92,11%	8,66	7,98
	<i>Ctenocephalide. canis</i>	5,41%	3,27	0,17
	<i>Xenopsylla cheopis</i>	1,97%	2,25	0,04
	<i>Pulex erritans</i>	0,49%	2	0,01

II. 3. 1. 4. Calcule d'indice de Shannon

--Cas chat <- rep (c ("*C. felis*", "*C. canis*", "*P. irritans*", "*X. cheopis*"), c (1632, 36, 9, 2))

Ctenocephalides felis = 0,02779, *Ctenocephalides canis* = 0,08282.

Xenopsylla cheopis = 0,02819, *Pulex Irritans* = 0,0806

$$H_s (P) = -\sum (Pk * \ln (Pk)) = \mathbf{0,14686.}$$

L'indice de Shannon est égal à 0,14686.

II. 3. 1. 5. Calcule d'indice de Gini-Simpson

--Cas chat <- rep (c ("*C. felis*", "*C. canis*", "*P. irritans*", "*X. cheopis*"), c (1632, 36, 9, 2))

Ctenocephalides felis = 0,02779, *Ctenocephalides canis* = 0,08282.

Xenopsylla cheopis = 0,02819, *Pulex Irritans* = 0,0806

$$H_{G-S} (P) = 1 - \sum Pk^2 = \mathbf{0,9915.}$$

L'indice de Gini-Simpson est égal à 0,9915.

II. 3. 1. 6. Corrélation Espèce de puce/Divers paramètres

Parmi les chats de l'étude pour lesquels l'information est disponible, on recense 98 mâles et 105 femelles.

En ce qui concerne *Ctenocephalides felis*, la répartition est la suivante : 96 chattes soit 48,66% des puces prélevées sur des femelles et 91 chats soit 51,33% prélevé sur des mâles, pour *Ctenocephalides canis* la répartition est de 4 chats soit 27,77% des puces prélevées sur des mâles et 7 chattes soit 72,22% des puces prélevées sur des femelles, pour *Xenopsylla cheopis* la répartition est équivalente pour les deux sexes, 2 chats soit 55,55% des puces prélevées sur des mâles et 2 chattes soit 44,44% des puces prélevées sur des femelles, enfin pour *Pulex irritans* l'analyse statistique fut impossible à réaliser, puisqu'un seul spécimen a été retrouvé sur un seul individu mâle (Madoui *et al.*, 2014).

II. 3. 1. 7. Lieu et mode de vie de l'hôte

Tableau 04: Répartition des espèces de puces en fonction des milieux d'étude.

	<i>C. felis</i>	Autres espèces	Total
Milieu urbain	698	13	711
Milieu rural	922	34	956
Total	1620	47	1667

Aucun milieu (milieu urbain ou rural) ne fait ressortir une prédominance d'espèce. Cependant sur les chats vivant exclusivement à l'intérieur des maisons, *Ctenocephalides felis* fut la seule espèce retrouvée. Quant aux autres espèces, leurs hôtes avaient toujours un accès à l'extérieur et pour la plupart des habitudes de chasse. Il faut remarquer aussi que deux des trois chats porteur de *C. canis* vivent en zone de montagne, comme l'avait observé Choquart, (1998) chez le chien.

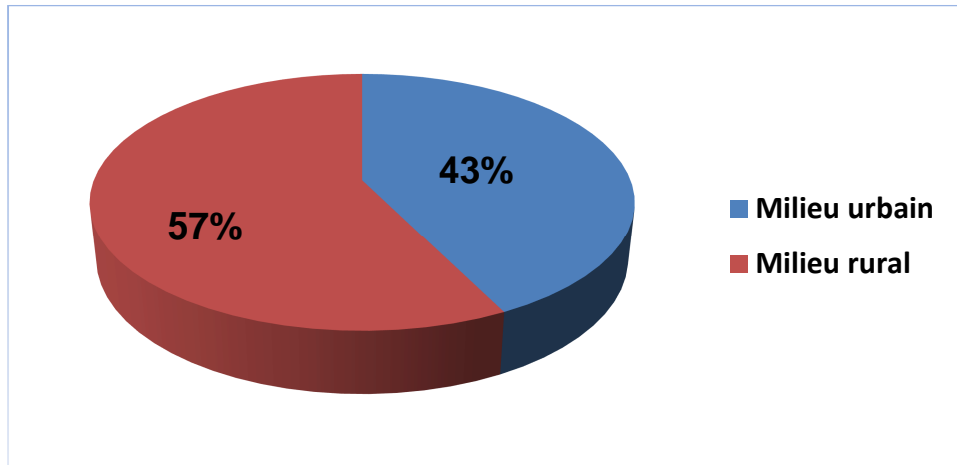


Figure 43 : Répartition des puces sur différents milieux d'étude.

II. 3. 1. 8. Discussion des résultats

Toutes les études menées sur l'épidémiologie des différentes espèces de puces présentes chez le chat mettent en avant la prédominance mondiale de *Ctenocephalides felis*.

- *Ctenocephalides felis* fut retrouvée comme seule espèce dans 15 études sur 27.

Notre enquête dans le nord-est d'Algérie confirme cette nette prédominance, mais fait aussi ressortir un parasitisme plus varié avec 4 espèces recensées. Les espèces déjà connues chez le chat sont présente, même si leur taux d'infestation reste sensiblement inférieur à *C. felis*.

Avec 97,18% de la population, *Ctenocephalides felis* est loin devant les autres espèces qui ont vraisemblablement été contracté lors d'activités de chasse ou par la cohabitation avec l'homme et le chien (Madoui *et al.*, 2014).

II. 3. 2. Etude des peuplements de puces du chien

Dans cette partie de l'étude une enquête a été menée sur 117 chiens de tous âges, sexes et races, nous avons pu prélever 1879 puces réparties en trois espèces :

1. *Ctenocephalides felis* 81,26%.
2. *Ctenocephalides canis* 18,68%.
3. *Archaeopsylla erinacei* 0,05%.

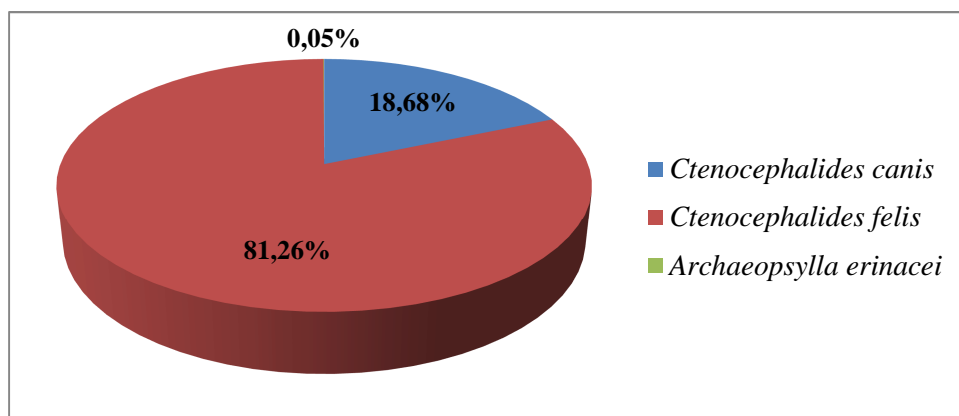


Figure 44 : Répartition des différentes espèces de puces de chien

La richesse spécifique $H_r = 2$.

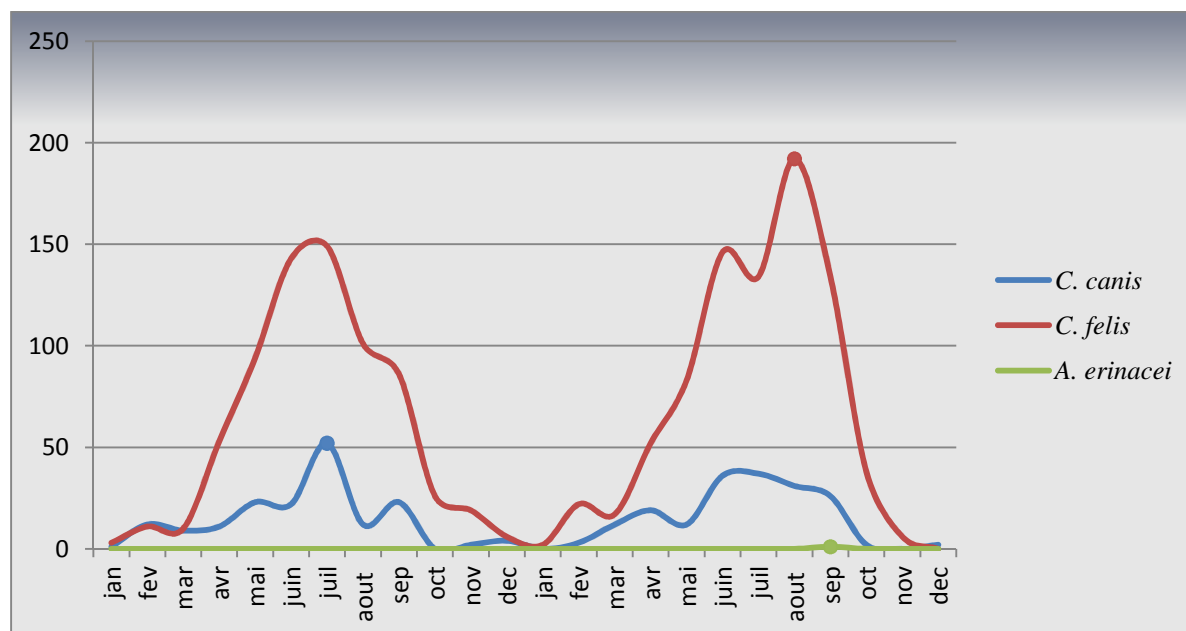


Figure 45 : Répartition temporelle des espèces de puces de chien durant notre période d'étude (2010 – 2011).

Comme chez le chat *C. felis* est l'espèce la plus dominante chez le chien, elle représente 81,26% des puces récoltées. Les indices *C. felis*, que nous avons enregistré sont très élevées durant les deux années de notre étude, la courbe annuelle d'abondance est à son sommet durant la saison sèche de la deuxième année d'observation en Août, et son minimum au cours de la saison des pluies, en décembre, janvier. Contrairement aux chats chez les chiens *C. canis* est pratiquement présente durant toute la période d'étude avec des fluctuations d'abondance, le maximum est atteint lors des observations au cours de la première année en mois de Juillet.

Tableau 05 : répartition des puces récoltées chez le chien.

Espèce	Nombre de chiens	Nombre de puces
<i>Ctenocephalides canis</i>	21	351
<i>Ctenocephalides felis</i>	85	1527
<i>Archaeopsylla erinacei</i>	1	1

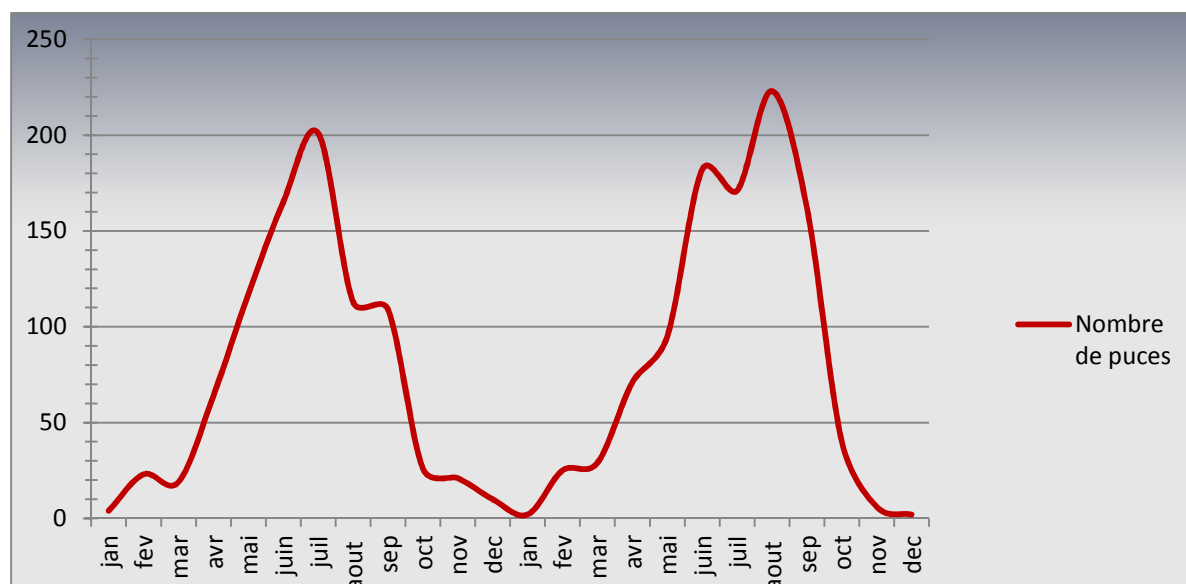


Figure 44: dynamique d'apparition des puces chez le chien entre 2010-2011.

II. 3. 2. 1. Type d'infestation

Sur chaque animal, de 1 à 62 puces furent récoltées avec une moyenne sur l'ensemble des animaux de 16,05 puces par chien.

78,63% des animaux, soit 92 chiens, n'étaient l'hôte que d'une seule espèce de puces ; de manière plus précise, on dénombrait :

- 78 chiens porteurs uniquement de *Ctenocephalides felis felis*.
- 14 chiens porteurs uniquement de *ctenocephalides canis*.

Les infestations mixtes furent une association de *Ctenocephalides felis* avec l'une des deux espèces suivantes : *Ctenocephalides canis*, *Archaeopsylla erinacei*.

Ainsi l'espèce dominante est bien *Ctenocephalides felis* avec 85 chiens parasités sur 117 soit une prévalence de 72,64%, suivie par *Ctenocephalides canis* espèce satellite avec 17,94%, l'espèce rare est *Archaeopsylla erinacei* avec seulement 0,85%.

II. 3. 2. 2. Intensité moyenne de l'infestation (Bilong – Bilong & Njiné 1998):

Les puces ont été observées dans 99 cas sur 117 animaux, ainsi nous obtenons :

- L'intensité moyenne la plus élevée est celle de *Ctenocephalides felis* avec 17,96 suivie par *Ctenocephalides canis* avec 16,71 suivie par *Archaeopsylla erinacei* avec une intensité moyenne égale à 1.

Tableau 06: Indices parasitaires des puces du chien.

Hôte	Espèce de puce	Prévalence (P)	Intensité moyenne (IM)	Abondance (Ab)
Chien	<i>Ctenocephalide. canis</i>	17,94%	16,71	3
	<i>Ctenocephalides felis</i>	72,64%	17,96	13,05
	<i>Archaeopsylla erinacei</i>	0,85%	1	0,08

II. 3. 2. 3. Calcule d'indice de Shannon

--Cas chien <- rep (c ("*C. felis*", "*C. canis*", "*P. irritans*", "*X. cheopis*"), c (351, 1527, 1))

Ctenocephalides felis = 0,8126, *Ctenocephalides canis* = 0,1860.

Archaeopsylla errinacei = 0,0005321.

$$H_s (P) = -\sum (P_k * \ln (P_k)) = \mathbf{0,4854}.$$

L'indice de Shannon est égal à 0,4854.

II. 3. 2. 4. Calcule d'indice de Gini-Simpson

--Cas chien <- rep (c ("*C. felis*", "*C. canis*", "*P. irritans*", "*X. cheopis*"), c (351, 1527, 1))

Ctenocephalides felis = 0,8126, *Ctenocephalides canis* = 0,1860.

Archaeopsylla errinacei = 0,0005321.

$$H_{G-S} (P) = 1 - \sum P_k^2 = \mathbf{0,3050}.$$

L'indice de Gini-Simpson est égal à 0,3050.

II. 3. 2. 5. Corrélation Espèce de puce/Divers paramètres

Parmi les chiens de l'étude pour lesquels l'information est disponible, on recense 67 mâles et 32 femelles.

En ce qui concerne *Ctenocephalides felis*, la répartition est la suivante : 61 chiens soit 62,80% des puces prélevées sur des mâles et 24 chiennes soit 37,19% des puces prélevées sur des femelles, pour *Ctenocephalides canis* la répartition est de 17 chiens soit 66,66% des puces prélevées sur des mâles et 4 chiennes soit 33,33% des puces prélevées sur des femelles, enfin pour *Pulex irritans* l'analyse statistique fut impossible à réaliser, puisqu'un seul spécimen a été retrouvé sur un seul individu mâle.

II. 3. 2. 6. Lieu de vie de l'hôte

Tableau 07: Répartition des espèces de puces en fonction des milieux d'étude

	<i>C. felis</i>	<i>C. canis</i>	<i>A. erinacei</i>	Total
Milieu urbain	453	89	1	543
Milieu rural	1074	262	0	1336
Total	1527	351	1	1879

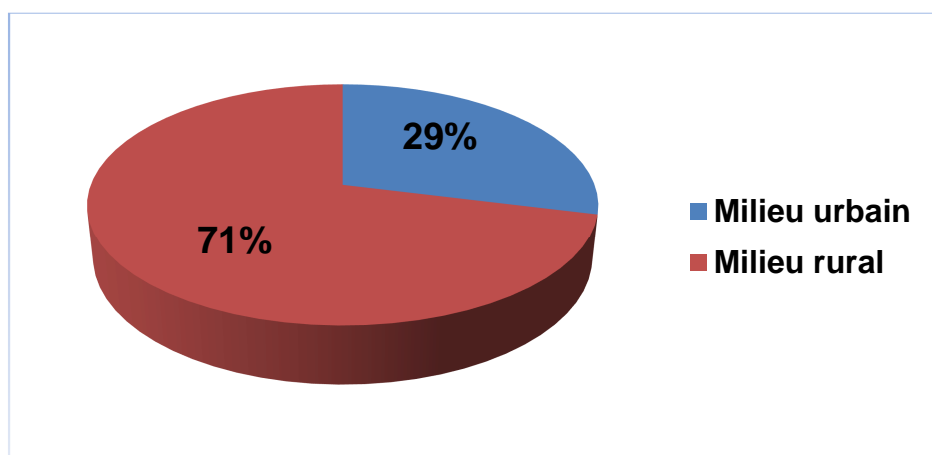


Figure 45: Répartition des puces sur différents milieux d'étude.

C. felis est présente sur l'ensemble du territoire, dans le pelage des animaux vivant aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. En revanche, *C. canis* parasite préférentiellement les chiens vivant à l'extérieur, la moitié en climat montagnard. Cette espèce est plus fréquente en altitude qu'en plaine : 42,85 % des chiens porteurs de *C. canis* vivent au-dessus de 400 m contre seulement 18,82 % des chiens hébergeant *C. felis*.

II. 3. 2. 7. Discussion des résultats

Dans cette enquête conduite sur 117 chiens hébergeant des puces provenant de deux milieux différents de la région d'Annaba du Nord-Est d'Algérie. 1879 puces ont été récoltées et 3 espèces ont été identifiées : *Ctenocephalides felis* (81,26 %), *Ctenocephalides canis* (18,68 %) et *Archaeopsylla erinacei* (0,05 %). 72,64 % des chiens hébergeaient *C. felis* et 17,94 % *C.*

canis. *C. felis* est présente sur l'ensemble de la région, dans le pelage des animaux vivant aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. En revanche, *C. canis* parasite préférentiellement les chiens vivant à l'extérieur, la moitié en climat de montagne. Cette espèce est plus fréquente en altitude qu'en plaine : 34,8 % des chiens porteurs de *C. canis* vivent au-dessus de 400 m contre seulement 10,7 % des chiens hébergeant *C. felis*.

II. 3. 3. Etude des Peuplements de puces du rat

Les micromammifères sont des hôtes de choix pour les puces qui trouvent au sein des terriers des conditions microclimatiques adaptées à leur développement larvaire. Cependant, les associations hôtes / puces observées doivent être analysées avec prudence car elles ne découlent pas forcément d'une histoire évolutive linéaire (Beaucournu, 1981). Plusieurs mécanismes d'association peuvent être observés :

- Une origine phylétique, c'est le cas des puces de chauve-souris (cf. infra.)
- Des phénomènes de capture avec passage d'un hôte à un nouvel hôte soit par relation de prédation, soit par extinction d'un hôte soit par fréquentation du même biotope, c'est le cas avec le rat noir, *Rattus rattus*, espèce exploratrice.
- Exigence de microclimat des phases pré-adultes au niveau des terriers ou des nids.

II. 3. 3. 1. Piégeage et récolte

Dans cette étude les rats sont capturés dans des pièges-cages, métalliques et grillagés, d'environ 12 x 15 x 25 cm, de fabrication locale, avec des tranches de graisses servant d'appât, les rats capturés sont apportés dans leur piège au laboratoire. L'épucage se fait après strangulation du rat dans un sac. Les puces sont mises dans des tubes eppendorf à 70° d'Alcool, identifiées et comptées (Madoui *et al.*, 2014).

Rattus rattus est la seule espèce de rat trouvée, sur les 384 rats capturés, deux espèces de puces ont été trouvées :

- *Xenopsylla cheopis* 89,39%.
- *Ctenocephalides felis* 10,6%.

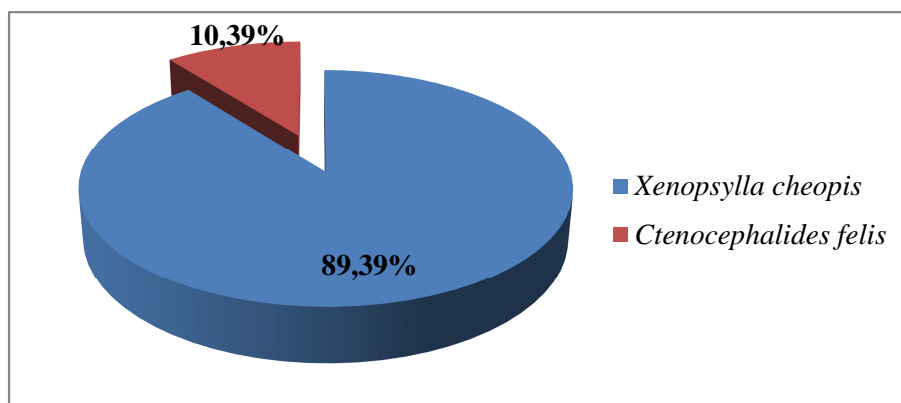


Figure 46 : Répartition des différentes espèces de puces de rat.

La richesse spécifique $H_r = 1$.

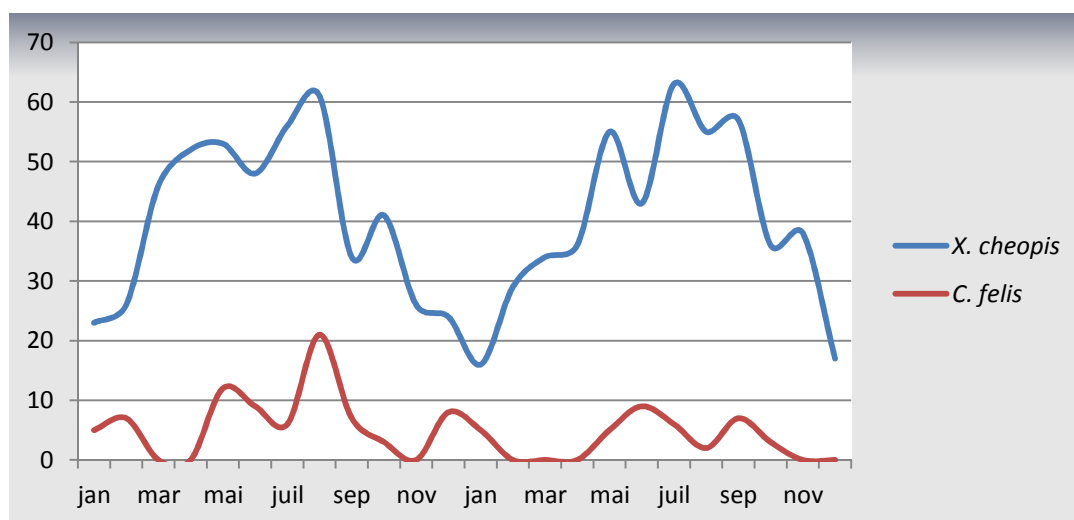


Figure 47 : Répartition temporelle des espèces de puces du rat durant notre période d'étude (2010 – 2011).

Notre étude sur l'écologie des puces de rats dans notre région, montrent qu'il existe, une importante population de rongeur, fortement infestée par *X. cheopis* et accessoirement par *C. felis* (Madoui *et al.*, 2014).

Le cycle annuel de *X. cheopis*, dans les conditions écologiques étudiées, est caractérisé par une reproduction continue, rythmée par plusieurs grandes vagues d'éclosions d'adultes. La première en Mars, la seconde en saison sèche et chaude, est la plus importante durant la première année. Elle est déclenchée par une forte élévation de température, qui se produit de Mai jusqu'à Août, associée à une humidité relative favorable. Ces premières générations produisent une descendance, dont la grande masse forme la troisième vague, apparaissant de Mai à Septembre de l'année suivante. Après la saison des pluies en décembre et janvier.

Cependant chez *C. felis* La courbe annuelle d'abondance est plutôt fluctuante durant toute la période d'étude, elle est à son sommet durant la saison sèche en Août et pratiquement absente au cours de la saison des pluies en hiver.

Tableau 08: répartition des puces récoltées chez le rat.

Espèce	Nombre de rats	Nombre de puces
<i>Xenopsylla cheopis</i>	278	969
<i>Ctenocephalides felis</i>	34	115



Figure 48: dynamique d'apparition des puces chez le rat entre 2010-2011.

II. 3. 3. 2. Interprétation du cycle annuel des puces

Les indices très élevés, que l'on enregistre durant quatre mois, de Mai à Août, correspondent à la période des plus hautes températures annuelles. Les moyennes sont alors supérieures à 25°, et les maxima se situent entre 26,5° et 31,1°. La saison chaude et sèche, ainsi que le début de la saison des pluies, sont par conséquent favorables à une augmentation de la population, par l'élévation du taux des éclosions.

La chute d'indice, qui débute déjà en Septembre, s'accroît avec la progression de la saison des pluies, jusqu'en octobre. Durant cette période, l'hygrométrie relative moyenne dépasse 80 %, et les températures baissent notablement, les moyennes au-dessous de 17° et les maxima jusqu'à 21,5°.

Il ne fait pas de doute que cette période est défavorable aux stades préimaginaux, du fait de l'excès d'humidité dans le biotope. A cette époque, tous les milieux naturels

insuffisamment aérés sont totalement envahis par les moisissures et les champignons, ennemis naturels des larves de puces, et sont soumis à la décomposition.

La remontée précoce de la courbe d'indice, en octobre, au plus fort des précipitations annuelles.

En janvier, la nouvelle chute d'indice est corrélative de la baisse de la température moyenne jusqu'à 8.9 et de la minima jusqu'au minimum absolu annuel de 5°.

Les indices à nouveau élevés, en Mars et Avril, sont en liaison avec le début de la saison sèche et fraîche, caractérisé par une chute de l'humidité relative moyenne jusqu'à 77 % et la persistance de températures favorables aux éclosions.

II. 3. 3. 3. Type d'infestation

Sur chaque animal, de 1 à 5 puces furent récoltées avec une moyenne sur l'ensemble des animaux de 2,84 puces par rat.

66,14% des animaux, soit 254 rats, n'étaient l'hôte que d'une seule espèce de puces ; de manière plus précise, on dénombrait :

- 249 rats porteurs uniquement de *Xenopsylla cheopis*.
- 5 rats porteurs uniquement de *Ctenocephalides felis*.

Les infestations mixtes furent une association de *Xenopsylla cheopis* avec *Ctenocephalides felis*.

Ainsi l'espèce dominante est bien *Xenopsylla cheopis* avec 278 rats parasités sur 384 soit une prévalence de 72,39% suivie par *Ctenocephalides felis* avec seulement 8,85%.

II. 3. 3. 4. Intensité moyenne de l'infestation (Bilong – Bilong & Njiné 1998)

Les puces ont été observées dans 283 cas sur 384 animaux, ainsi nous obtenons :

- **L'intensité moyenne la plus élevée est celle de *Xenopsylla cheopis* avec 0,89 suivie par *Ctenocephalides felis* avec 0,14.**

Tableau 09: Indices parasitaires des puces du rat.

Hôte	Espèce de puce	Prévalence (P)	Intensité moyenne (IM)	Abondance (Ab)
Rat	<i>Xenopsylla cheopis</i>	72,39%	0,89	2,52
	<i>Ctenocephalides felis</i>	8,85%	0,14	0,08

II. 3. 3. 5. Calcule d'indice de Shannon

--Cas rat <- rep (c ("C. felis", "X. cheopis"), c (115, 969))

Ctenocephalides felis = 0,1060, *Xenopsylla cheopis* = 0,8939.

$$H_s (P) = -\sum (P_k * \ln (P_k)) = \mathbf{0,3382}.$$

L'indice de Shannon est égal à 0,3382.

II. 3. 3. 6. Calcule d'indice de Gini-Simpson

--Cas rat <- rep (c ("C. felis", "X. cheopis"), c (115, 969))

Ctenocephalides felis = 0,1060, *Xenopsylla cheopis* = 0,8939.

$$H_{G-S} (P) = 1 - \sum P_k^2 = \mathbf{0,8103}.$$

L'indice de Gini-Simpson est égal à 0,8103.

II. 3. 3. 7. Corrélation Espèce de puce/Divers paramètres

Parmi les rats de l'étude pour lesquels l'information est disponible, on recense 182 mâles et 72 femelles.

En ce qui concerne *Ctenocephalides felis*, la répartition est la suivante : 21 rats soit 70,43% des puces prélevées sur des mâles et 13 femelles soit 29,56% des puces prélevées sur des femelles.

II. 3. 3. 8. Lieu de vie de l'hôte

Tableau 10: Répartition des espèces de puces en fonction des milieux d'étude

	<i>X. cheopis</i>	<i>C. felis</i>	<i>Total</i>
Milieu urbain	969	115	1084
<i>Total</i>	969	115	1084

Les puces sont présentes sur l'ensemble du territoire, dans le pelage des animaux vivant dans le milieu urbain et cela est due au choix de l'hôte (*Rattus rattus*) qui vit dans les égouts de la ville (en milieu urbain).

II. 3. 3. 9. Discussion des résultats

Nos observations sur les rats et leurs puces parasites dans notre région, montrent qu'il existe dans une telle agglomération, une importante population de rongeur, fortement infestée par *X. cheopis* et accessoirement par *C. felis*.

Le cycle annuel de *X. cheopis*, dans les conditions écologiques étudiées, est caractérisé par une reproduction continue, rythmée par plusieurs grandes vagues d'éclosions d'adultes et cela durant toute l'année. Les rongeurs constituent un réservoir possible d'agents pathogènes qui peut émerger et atteindre l'homme ou l'animal domestique.

II. 3. 4. Etude des peuplements de puces du hérisson

Le hérisson (*Erinaceus algirus*) fait partie des mammifères insectivores de la famille des Erinacéidés. Sa longévité ne dépasse pas 10 ans mais sa moyenne d'âge dans la nature est de 2 ans car plus du tiers de sa population périt chaque année.

Le hérisson d'Algérie ressemble étroitement au hérisson de l'Europe de l'ouest, cependant, il y a plusieurs différences distinctes entre les deux espèces. Le hérisson africain du nord tend à être plus petit que ses contreparties européennes, mesurant n'importe où de 200 à 250mm longs. Cependant, il est plus grand que les autres espèces africaines des hérissons et a un plus long museau et de plus longues jambes, lui faisant un coureur plus rapide. Son visage est léger en couleurs, habituellement semblant être blanc, et les jambes et la tête sont brunes. Le bas ventre de cet animal peut varier en couleurs, et est souvent brun ou blanc en couleurs. Les oreilles sur le hérisson africain du nord sont fortement évidentes sur la tête de l'animal et sont grandes dans la taille. Le corps est couvert dans les épines molles qui sont principalement blanches avec une bande plus foncée. Le hérisson d'Afrique du nord est le plus distinguable des parents physiquement semblables par le manque d'épines sur la couronne de la tête (Lohmann, 2004).

34 hérissons ont été capturés. *Atelerix algirus* est la seule espèce de hérisson trouvée, 766 puces furent prélevées, 4 espèces de puces ont été trouvées :

- *Archaeopsylla erinacei* 91,77%
- *Ctenocephalides canis* 4,43%
- *Ctenocephalides felis* 2,34%
- *Xenopsylla cheopis* 1,43%



Figure 49 : photo d'un hérisson *Atelerix algirus* capturé.

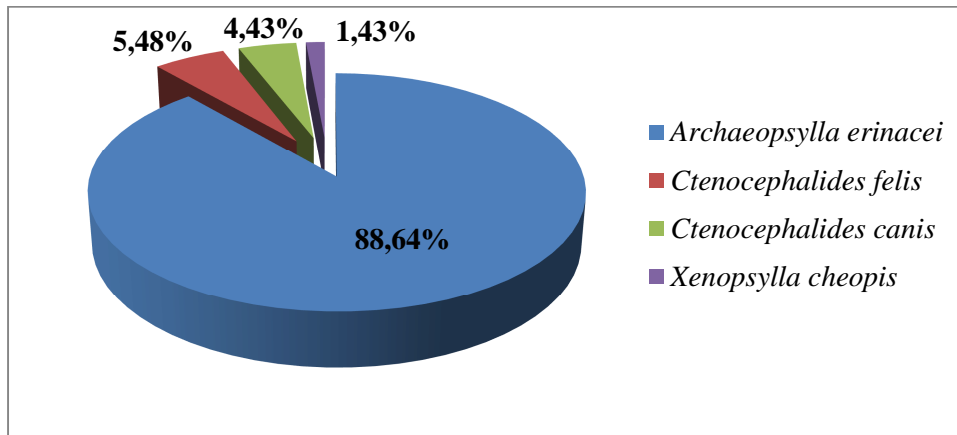


Figure 50 : Répartition des différentes espèces de puces du hérisson

La richesse spécifique $H_r = 3$

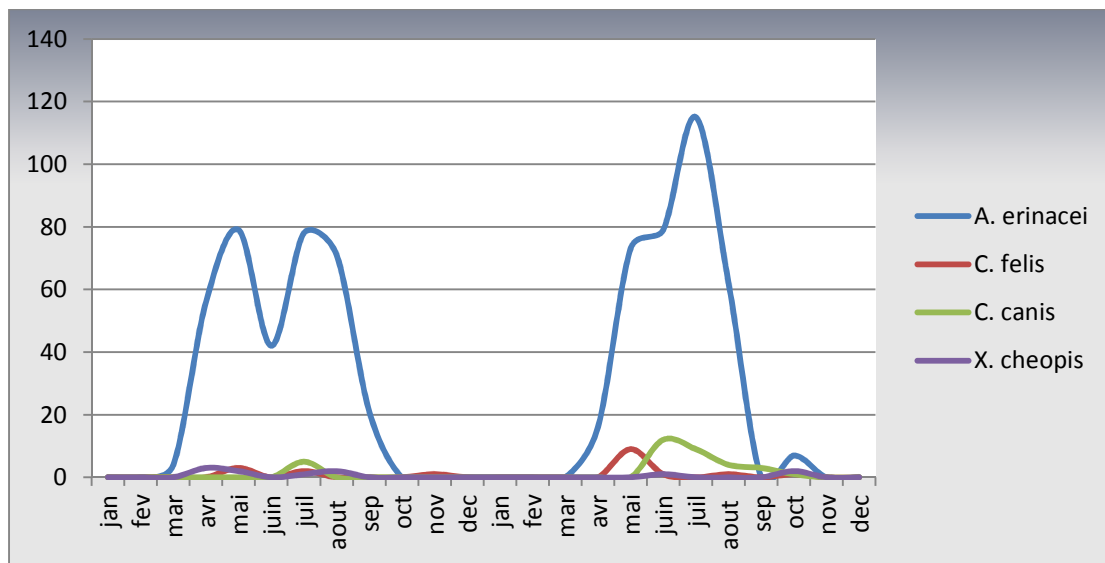


Figure 51: Répartition temporelle des espèces de puces du hérisson durant notre période d'étude (2010 – 2011).

Archaeopsylla erinacei représente 88,64 % des puces récoltées. Les indices que nous avons enregistrés durant les deux années de notre étude, montrent une apparition des puces pendant une période de l'année et cela est causé par le passage de l'animal par une période d'hibernation où le parasitisme dans cette période est minimal ou même voir nul.

Durant la première année d'observation, l'apparition des puces se fait en Mars et durent jusqu'à Novembre. La courbe d'abondance est à son sommet en Mai et juillet. De même que pour la deuxième année d'observation où l'apparition des puces se fait en Avril et durent jusqu'à Octobre et La courbe d'abondance est à son sommet en juillet.

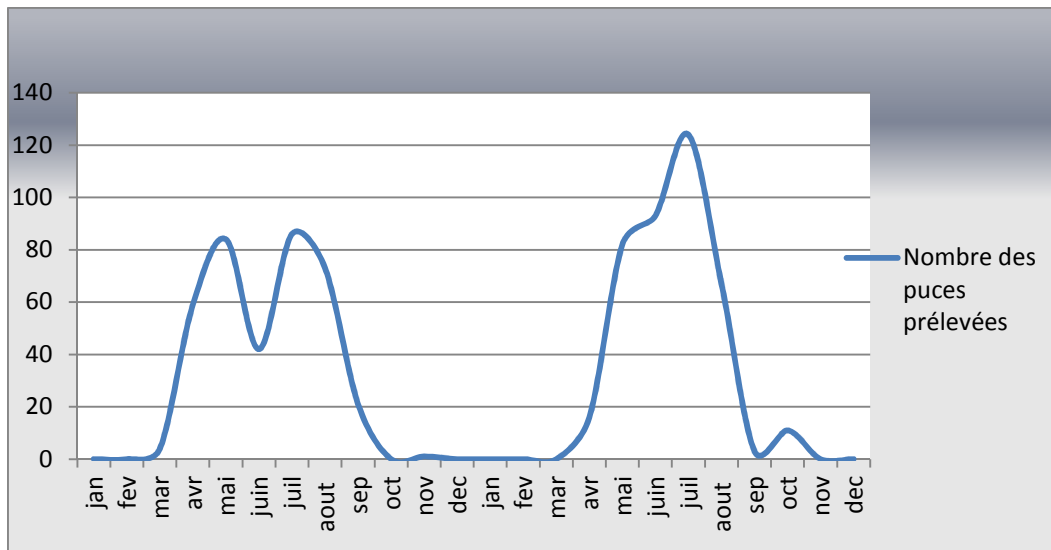


Figure 52: dynamique d'apparition des puces chez le hérisson entre 2010-2011.

II. 3. 4.1. Comportement

Très peu est connu réellement au sujet de l'habitat préféré du hérisson africain du nord. Le hérisson est essentiellement nocturne et crépusculaire (Aubert, 2001 ; Aubert, 2005 ; Heim de Balsac et Bourlière 1955 ; Schwammberger 1972). La nuit est consacrée à la chasse. Dès le crépuscule, il cherche sa nourriture composée d'insectes, de vers, d'escargots, de limaces, d'œufs, de fruits et de baies. Occasionnellement, il s'attaque aux serpents, lézards, rongeurs, batraciens et oiseaux nichant à terre. Il passe la journée dans un gîte qu'il aménage avec des feuilles ou sous un buisson et n'effectue que de rares sorties diurnes

L'ouïe et l'odorat sont bien développés. La vue n'est peut-être pas si faible qu'on le dit. Le hérisson peut, en effet, distinguer les couleurs et certains signes ou dessins (Aubert 2001, Aubert, 2002, Hainard 1948). Il est plutôt solitaire et sédentaire, fidèle à son lieu d'habitation. Le territoire individuel s'étend sur 200 à 300 mètres environ autour du nid. Les différents territoires se recoupent partiellement, mais les sujets s'évitent. En captivité, une certaine hiérarchie s'instaure et les mâles sont alors dominants (Aubert 2005).

Le hérisson fait énormément de bruit en se goinfrant : il mastique bruyamment, grogne, s'énerve, envoie de la terre à plusieurs mètres lorsqu'il gratte le sol, fouille parmi les feuilles, renifle bruyamment.

A part ces bruitages dignes d'une bête féroce, il n'a pas un répertoire très riche. On l'entend parfois caqueter lors des moments de grande excitation. Les jeunes hérissons à la recherche de leur mère émettent un sifflement. Son organe sensoriel le plus développé est l'odorat. Il possède également une ouïe très fine.

II. 3. 4. 2. Hibernation

A la fin de l'automne il commence à chercher un endroit pour hiberner. Ses sites d'hibernation favoris se situent généralement sous un tas de bois, un tas de feuilles, sous un arbuste ou tout autre endroit à l'abri du froid et du vent. Une fois le site idéal trouvé il s'aménage un petit nid capitonné de mousse et de feuilles. Dès que la température chute en dessous de 10° C, il entre en léthargie. Il se réveille brièvement de temps à autre lorsque la température devient trop basse. A chaque réveil, il épuise ses réserves énergétiques, ce qui peut lui être fatal pour passer le reste de l'hiver. Le réveil définitif se fait au printemps, vers le mois d'avril, quelles que soient les conditions climatiques.

Tableau 11: répartition des puces récoltées chez le hérisson.

Espèce	Nombre de hérisson	Nombre de puces
<i>Archaeopsylla erinacei</i>	29	703
<i>Ctenocephalides felis</i>	8	18
<i>Ctenocephalides canis</i>	6	34
<i>Xenopsylla cheopis</i>	6	11

II. 3. 4. 3. Type d'infestation

Sur chaque animal, de 1 à 42 puces furent récoltées avec une moyenne sur l'ensemble des animaux de 22,52 puces par hérisson.

58,82% des animaux, soit 20 hérissons, n'étaient l'hôte que d'une seule espèce de puces ; de manière plus précise, on dénombrait :

- 17 hérissons porteurs uniquement de *Archaeopsylla erinacei*.
- 1 hérisson porteur uniquement de *ctenocephalides felis*.

Les infestations mixtes furent une association d'*Archaeopsylla erinacei* avec l'une des trois espèces suivantes : *Ctenocephalides canis*, *ctenocephalides felis*, *xenopsylla cheopis*.

Ainsi l'espèce prépondérante est bien *Archaeopsylla erinacei* avec 29 hérissons parasités sur 34 soit une prévalence de 85,29%, suivie par *Ctenocephalides felis* 23,52%, *Xenopsylla cheopis* et *Ctenocephalides canis* 17,64% (espèces satellites).

II. 3. 4. 4. Intensité moyenne de l'infestation

Si on se réfère aux limites de Bilong – Bilong & Njiné (1998), le paragraphe puces présentes a été correctement complété dans les 34 cas, ainsi nous obtenons :

- L'intensité moyenne la plus élevée est celle de *Archaeopsylla erinacei* avec 23,41 suivie par *Ctenocephalides canis* 5,66, *Ctenocephalides felis* 5,25 et enfin *Xenopsylla cheopis* 1,83.

Tableau 12: Indices parasitaires des puces du hérisson.

Hôte	Espèce de puce	Prévalence (P)	Intensité moyenne (IM)	Abondance (Ab)
Hérisson	<i>Archaeopsylla erinacei</i>	85,29%	23,41	19,97
	<i>Xenopsylla cheopis</i>	17,64%	1,83	0,02
	<i>Ctenocephalides felis</i>	23,52%	5,25	1,23
	<i>Ctenocephalide. canis</i>	17,64%	5,66	1

II. 3. 4. 5. Calcule d'indice de Shannon

--Cas hérisson <- rep (c "A.erinacei", "C. felis", "C. canis", "X. cheopis"), c (679, 42, 34, 11))

Ctenocephalides felis = 0,0548, *Ctenocephalides canis* = 0,0443.

Xenopsylla cheopis = 0,0143, *Archaeopsylla erinacei* = 0,8864

$$H_s (P) = -\sum (P_k * \ln (P_k)) = \mathbf{0,4651}.$$

L'indice de Shannon est égal à 0,4651.

II. 3. 4. 6. Calcule d'indice de Gini-Simpson

--Cas hérisson <- rep (c "A.erinacei", "C. felis", "C. canis", "X. cheopis"), c (679, 42, 34, 11))

Ctenocephalides felis = 0,0548, *Ctenocephalides canis* = 0,0443.

Xenopsylla cheopis = 0,0143, *Archaeopsylla erinacei* = 0,8864

$$H_{G-S} (P) = 1 - \sum P_k^2 = \mathbf{0,2092}.$$

L'indice de Gini-Simpson est égal à 0,2092.

II. 3. 4. 7. Habitat

On trouvera le hérisson partout où il peut trouver gîte et nourriture. On le rencontrera ainsi en lisière de forêt, dans les prés bordés de haies (paysage de bocage) ou dans les parcs et jardins.

Dans les forêts, on le dénichera plutôt sur le tas de compost où il trouvera les insectes nécessaires à son alimentation.

Tableau 13: Répartition des espèces de puces en fonction des milieux d'étude.

	<i>A. erinacei</i>	<i>C. felis</i>	<i>C. canis</i>	<i>X. cheopis</i>	<i>Total</i>
Milieu urbain	679	42	34	11	766
Total	679	42	34	11	766

II. 3. 4. 8. Discussion des résultats

Le hérisson d'Algérie dont le nom scientifique est *Erinaceus algirus* est un mammifère placentaire, de l'ordre des insectivores, du sous-ordre des *Erinaceomorphes* (Hérissons et Gymnures). Il fait partie de la famille des *Erinaceides*, et de la sous-famille des *Erinaceines*.

Les parasites peuvent imposer une forme de sélection aux juvéniles en augmentant la mortalité de l'hôte (Møller, 1990, Oppliger *et al.*, 1994), réduisant la croissance (Richner *et al.*, 1993) et changeant la taille de corps de l'hôte.

L'effort d'échantillonnage nous a permis de capturer 34 hérissons. Le peuplement de puces parasites collecté sur les hérissons capturé est composé de quatre espèces, principalement d'*Archaeopsylla erinacei* qui constitue 91,77% du peuplement, ainsi que 4,43% de *Ctenocephalides canis*, 2,34% de *Ctenocephalides felis* et enfin 1,43% de *Xenopsylla cheopis*. L'étude de l'ectoparasitisme chez l'espèce hôte étudié, lors de ce travail, révèle que le hérisson héberge un cocktail de puces parasites. Ainsi, et de part son mode de vie, il est considéré étant un modèle de choix pour l'étude des relations hôte parasites, notamment dans le contexte : réservoir et amplificateur d'agent pathogène.

II. 3. 5. Résultat général

II. 3. 5. 1. Effort d'échantillonnage

Au cours de nos deux années d'étude nous avons pu récolter 5396 spécimens ou puces sur différents hôtes, dont la répartition été comme suit (Figure 53) :

- 34,82% chez les chiens (1879 individus prélevés sur 117 hôtes examinés).
- 30,89% chez les chats (1667 individus prélevés sur 203 hôtes examinés).
- 20,08% chez les rats (1084 individus prélevés sur 384 hôtes examinés).
- 14,19% chez les hérissons (766 individus prélevés sur 34 hôtes examinés).

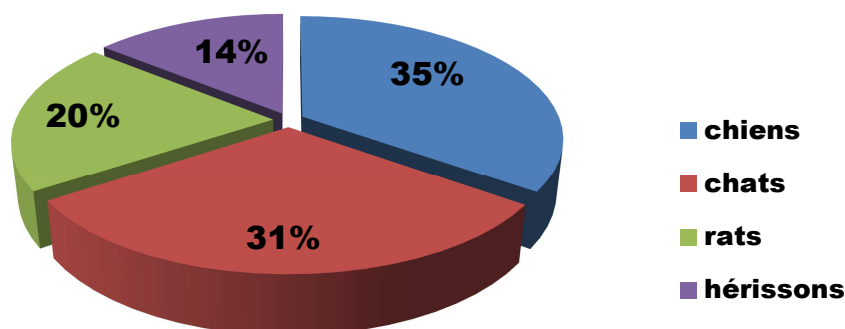


Figure 53: Répartition des puces sur les différents hôtes

Sur les 5396 spécimens, prélevés sur les différents hôtes (chiens, chats, rats et hérissons). Nous avons pu déterminer les abondances suivantes ; chez le hérisson la présence des puces est la plus abondante avec 766 individus prélevés sur 34 hôtes examinés, suivie par ordre décroissant par le chien avec 1879 individus prélevés sur 117 hôtes examinés, le chat avec 1667 individus prélevés sur 203 hôtes examinés, enfin le rat est l'hôte le moins parasité avec 1084 individus prélevés sur 384 hôtes examinés (tableau n°14).

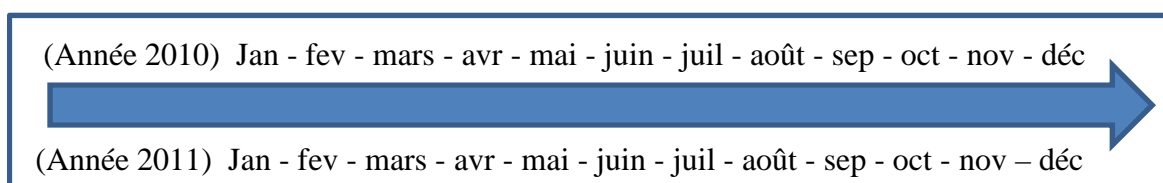


Figure 54: Parcours de notre période d'étude.

Tableau 14: Variations mensuelles du taux des captures et d'infestation par les puces des différents hôtes en fonction des conditions climatiques « T°, H%, P » de la région entre Janvier 2010-Décembre 2011.

	T° _{min}	T° _{max}	H%	P _{mm}	Nombre de puce récoltée sur			
					Chien	Chat	Rat	Hérisson
Janvier	6,4	16,1	74,4	89,6	4	11	28	0
Février	8,1	18,4	79,4	54,2	23	3	33	0
Mars	10,9	21,9	71	60	19	10	46	4
Avril	13,2	23,9	69,4	32	64	51	52	59
Mai	16,3	26,5	68,5	40,3	117	102	65	84
Juin	19,1	30,7	72	18,5	165	140	57	42
Juillet	19,2	31,1	79,7	0	201	167	62	86
Août	18,8	29,1	79,9	1,5	113	102	82	73
Septembre	14,9	25,5	81,9	27	109	89	41	21
Octobre	12	21,5	81,6	100	26	33	44	0
Novembre	9,1	17,7	84,4	121,1	21	30	26	1
Décembre	7,7	16,1	86,2	41	10	31	32	0
Janvier	5	12,9	79	51,6	2	44	21	0
Février	8,9	18,2	74,8	112,3	25	18	29	0
Mars	10,9	20,3	79,7	82,4	29	22	34	0
Avril	12,4	23,7	77	57,2	71	60	36	16
Mai	15,4	27,1	77	58,3	95	89	60	82
Juin	19,3	31,2	73,2	7,5	182	132	52	93
Juillet	19,2	31,3	77,8	3,2	171	179	69	124
Août	17,6	29,1	72	0,6	223	142	57	67
Septembre	14,2	26,3	74	37	161	106	64	3
Octobre	11,6	20,5	76	106,2	40	40	39	11
Novembre	8,2	18,8	78,8	59,1	6	25	38	0
Décembre	7,7	17,2	78	80	2	41	17	0
Total	/	/	/	/	1879	1667	1084	766

Le tableau 14 résume notre activité sur terrain tout au long de notre étude qui s'est étalée sur une période de deux ans, l'effort d'échantillonnage était constant et systématique, avec des relevés de température, d'humidité et de pluviométrie moyenne de chaque mois.

II. 3. 5. 2. Description des espèces trouvées

- *Ctenocephalides felis* (Figure 55) est reconnue pour pouvoir parasiter plus d'une cinquantaine d'hôte (puce euryxène), elle est pour cela considérée par certains auteurs comme la puce la moins spécifique, (Harman *et al.*, 1987; Kwochka, 1987; Schemidt, 1988; Beaucournu & Menier, 1998). Ses origines sont en Afrique du nord et au Proche-Orient, alors qu'elle est actuellement présente sur une grande partie du globe. Le complexe *felis* qui regroupe les sous-espèces *C. felis* participe à cette faible spécificité d'hôte en élargissant le nombre de biotope propice à leur survie.
- *Ctenocephalides canis* (Figure 56-57) a pour hôte primaire le renard roux des zones paléarctiques. D'après l'enquête de P. Choquart concernant les chiens, cette espèce préfère les animaux vivant à l'extérieur et à des altitudes supérieures à 400 m (Franc *et al.*, 1998 ; Choquart, 1999) confirment ainsi les observations de Beaucournu (Beaucournu, 1973 ; Beaucournu & Launay, 1990 ; Beaucournu & Menier 1998), qui place cette espèce dans celle à « écologie assez stricte, parasite des canidés selvatiques et du chien lorsque les conditions de vie sont proches des conditions naturelles : chiens de ferme, chiens de berger, chiens de meute ». C'est une puce qui est qualifiée de sténoxène, vu sa nette préférence pour les canidés. Le cycle de *C. canis* est réalisable entièrement sur des chats mais avec des rendements inférieurs que sur des chiens, respectivement 17,6% et 37°C, 4% à 27°C, Cadiergues (2000). Parallèlement, le taux de survie à 48 h de *C. felis felis* sur chiens est tout de même inférieur à celui de *C. canis*, respectivement 59% et 78%, Cadiergues (2000).
- *Xenopsylla cheopis* (Figure 59-60) puce du rat et principale vecteur de la peste. Sa spécificité moyenne la rend très dangereuse en cas d'épidémie. Elle est ré pondue dans toutes les régions chaudes et tempérés du globe et sa répartition synanthrope est souvent corrélée à celle du rat, Beaucournu & Launay (1990).
- *Archaeopsylla erinacei* (Figure 58) son hôte de prédilection est le hérisson, mais elle a déjà été retrouvée sur nos animaux de compagnie que sont le chien et chat (Snodgrass, 1945 ; Franc *et al.*, 1998 ; Choquart, 1999). Les contacts que ces derniers ont avec les hérissons peuvent expliquer les quelques cas recensés. Le taux d'infestation des hérissons varie au cours de l'année ; en hibernation, le nombre de parasite sur un animal est presque nul tandis que les maxima sont atteints en fin d'été et en automne, Beaucournu & Launay (1990).

- *Pulex irritans* (Figure 61-62) est appelée à tort « puce de l'homme » ; ce dernier en a hérité lors de la période de glaciation lorsqu'il partagea les mêmes refuges que ses hôtes primaires que sont le renard et le blaireau. Elle peut être aussi retrouvée sur les rats (rôle dans la transmission de la peste), le chiens (Choquart, 1999 ; Wall *et all*, 1997), les chats et les porcs.

NB : Pour conclure, la puce est un parasite obligatoire dont la réalisation du cycle et son rendement sont influencés par la nature du milieu extérieur. La spécificité hôte-parasite assez lâche facilite alors la survie.

II. 3. 5. 3. Analyse climatique

Le climat d'Annaba est un climat doux, pluvieux en hiver, chaud et subhumide en été avec une moyenne maximale de 32°C en août et une moyenne minimale de 6,58°C en janvier. Le taux d'humidité est élevé l'hiver comme l'été, la moyenne maximale est de 93% en décembre et la moyenne minimale de 46,4 % en juillet.

L'insolation est considérable en été avec un maximum de 356 h en juillet et un minimum de 98,9 h en décembre. Les précipitations sont rares en été et sont importantes en hiver avec un maximum de 136,16 mm en décembre et un minimum de 4,22 mm en juillet (figure 63).

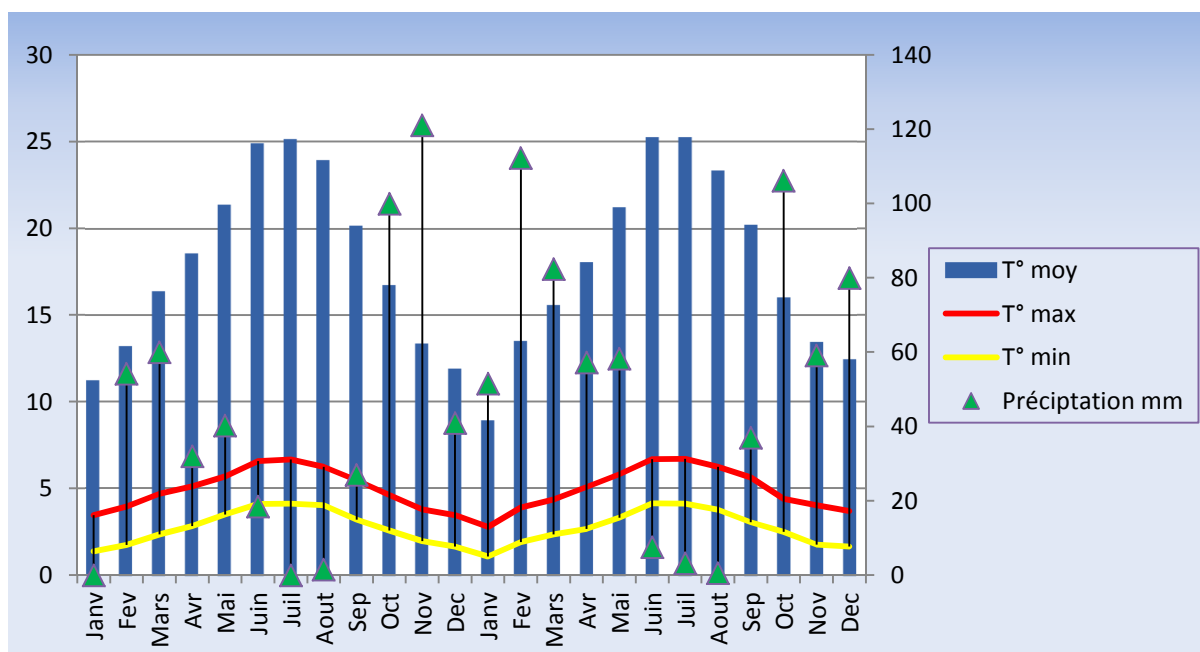


Figure 63: Interprétation des données météorologiques de la région Annaba durant notre période d'étude (Janvier 2010- Décembre 2011).

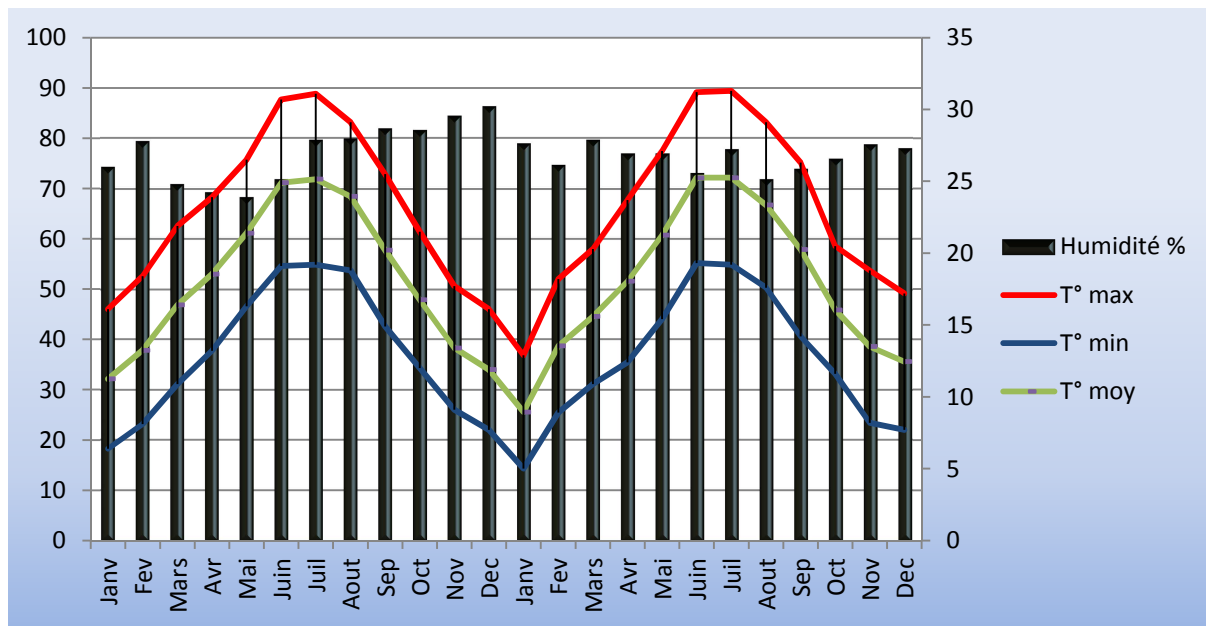


Figure 64: *Interprétation des données météorologiques de la région Annaba durant notre période d'étude (Janvier 2010- Décembre 2011).*

II. 3. 5. 4. Etude de la dynamique d'appartition des puces (Annexe 1)

Pour la compréhension du cycle annuel des puces, dans les conditions écologiques étudiées, nous disposons de la courbe annuelle des indices d'abondance (figure 65), ainsi que des histogrammes mensuels (figure 67), représentant la composition de la population étudiée, deux graphiques, que nous pouvons interpréter en fonction des facteurs climatiques (tableau 14).

Les difficultés que nous rencontrons dans ces interprétations résident dans le fait, que nos enregistrements ne concernent qu'une fraction de la population totale, dont la distribution est dominée surtout par la fonction alimentaire. La dynamique de cette fraction de population est la résultante de trois forces biologiques, qui sont les éclosions d'adultes, la mortalité et les déplacements d'individus. Ceux-ci sont continuels, s'effectuant entre l'hôte, son gîte et le milieu environnant. Ils sont fortement orientés par les fonctions vitales, telles que les fonctions ,alimentaire, reproductrice ou simplement motrice ; celle-ci, en particulier, est motivée par l'agressivité, la fuite ou la tendance au repos relatif, dans la fourrure de l'hôte ou dans le biotope. Ces déplacements non soumis au hasard provoquent des variations dans l'abondance relative des diverses fractions de la population pulicidienne totale. Ainsi, la fraction que nous étudions à partir des hôtes subit des variations quantitatives, qui sont indépendantes des

taux d'éclosion et de mortalité. Ceux-ci sont, par conséquent, difficiles à apprécier à leur juste valeur, à partir de la courbe d'indices et des représentations de la composition de la population.

II. 3. 5. 5. Répartition des puces en fonction des hôtes parasités (Figure 65)

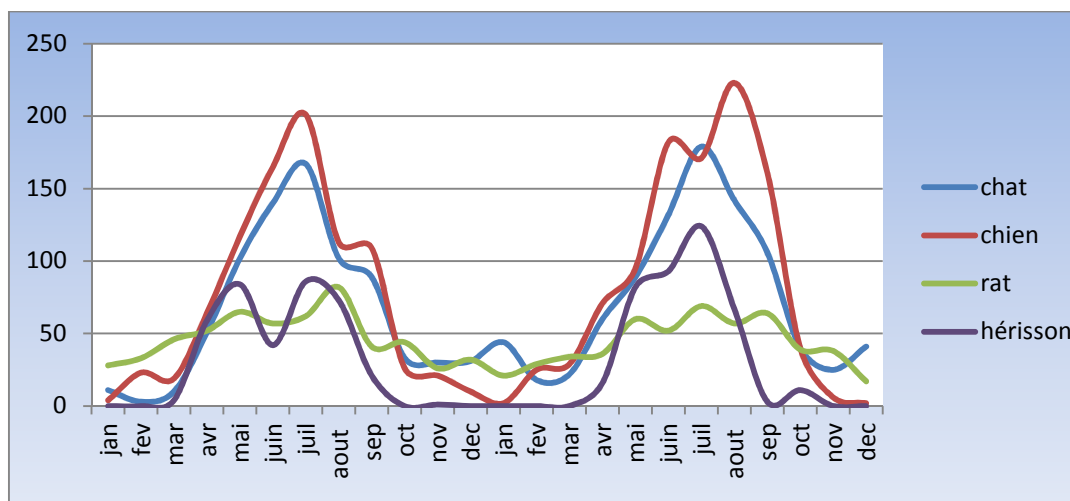


Figure 65 : dynamique d'apparition des puces pour chaque hôte.

Au cours de notre étude, 5396 spécimens (puces) ont été récoltés. Chez le hérisson, la présence des puces est la plus abondante soit 22,52% (766 individus prélevés sur 34 hôtes examinés), se qui fait que le hérisson est l'hôte le plus parasité, suivie du chien 16,05% (1879 individus prélevés sur 117 hôtes examinés) et 8,21% sur le chat (1667 individus prélevés sur 203 hôtes examinés). Le rat noir est l'hôte le moins parasité avec 2,82% soit 1084 individus prélevés sur 384 hôtes examinés. 34,82% des puces récoltées appartiennent aux chiens, le taux d'infestation chez les chiens est de 84,61%. Le maximum annuel, de 100%, se situe en mai et juin 2010 et entre mai et juillet 2011. Le minimum annuel s'observe en mars 2011. 30,89% des puces récoltées appartiennent aux chats, le taux d'infestation chez les chats est de 96,55%. Le maximum annuel, de 100%, se situe en mars et décembre. Le minimum annuel s'observe en Janvier de la première année avec 40%. 20,08 des puces récoltées appartiennent aux rats, le taux d'infestation est de 73,69%. Le maximum annuel est de 93,75%, se situe en août 2010 et mai 2011. Le minimum annuel s'observe en décembre 2011 avec 30%. 14,19% des puces récoltées appartiennent aux hérissons, le taux d'infestation annuel est de 100% (tout les hôtes capturés été parasités), se situe ente (mars - septembre 2010) et (mai – octobre 2011).

II. 3. 5. 6. Répartition des puces en fonction des espèces (Figure 66).

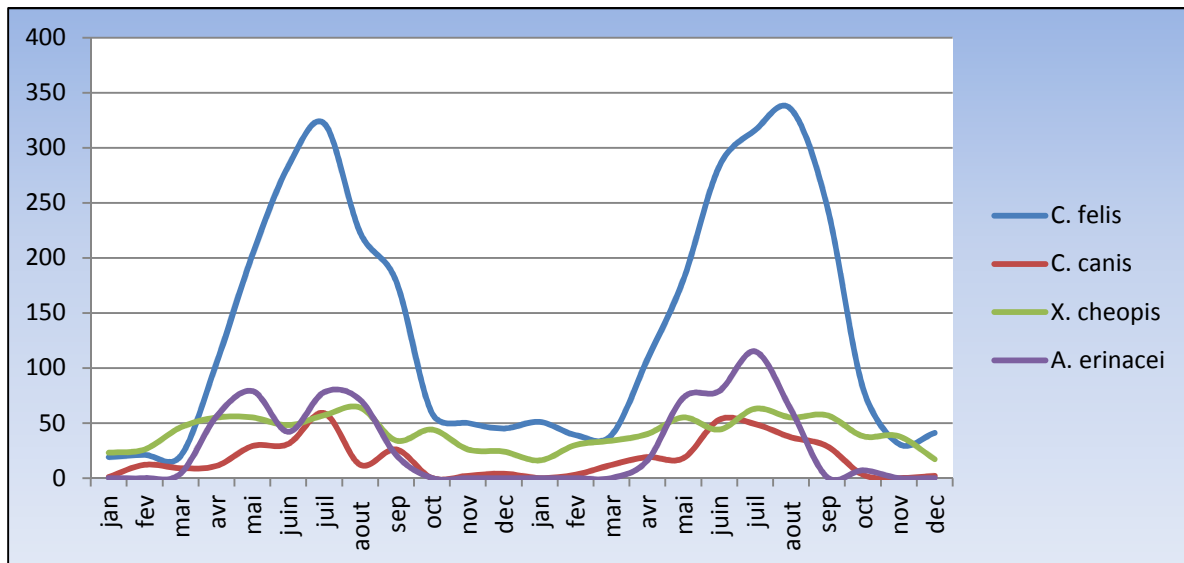


Figure 66: dynamique d'apparition des puces selon chaque espèce.

Toutes les espèces de puces observées et identifiées ont présenté une activité saisonnière avec une période d'apparition sur les animaux plus ou moins limitée selon les espèces.

Pour *Ctenocephalides felis*, l'intensité moyenne annuelle du parasitisme par cette espèce est de 17,96 pour les chiens, 8,66 pour les chats, 0,14 pour les rats et 5,25 pour le hérisson. Les animaux présentent une infestation très importante par cette puce entre juin et août avec un pic atteint en juillet.

Suivie d'une diminution de la charge parasitaire de septembre à décembre. Le minimum est atteint au mois de février de l'année suivante. Nous remarquons une ré-augmentation des puces dès le mois d'avril jusqu'à Août où la charge parasitaire est au sommet. Pendant cette période de grande activité, le sex-ratio est en faveur des femelles, de nombreuses femelles gorgées ont été récoltées. Puis la charge parasitaire diminue progressivement jusqu'à décembre, la fin de notre période d'étude.

Cependant, *Ctenocephalides canis* a été mise en évidence chez le chien avec une charge parasitaire plus au moins importante par rapport au chat et au hérisson.

L'espèce *Xenopsylla cheopis* a été observée durant toute l'année chez le rat, avec une charge parasitaire plus au moins constante durant toute la période d'étude. Contrairement chez le chat et le hérisson où le taux d'infestation par cette espèce est relativement faible, voire même nulle chez le chien où aucune puce n'a été récoltée.

L'espèce *Archaeopsylla erinacei* a été présente sur le hérisson avec une forte intensité d'infestation, cette espèce été mise en évidence sur les animaux au printemps et en été.

L'observation des puces enregistrées pour la première année s'élève entre Mars et Septembre, celles relevées pour la seconde année sont enregistrées entre Avril et Octobre.

II. 3. 5. 7. Répartition temporelle des puces (toute espèce hôte confondue) (Figure 67)

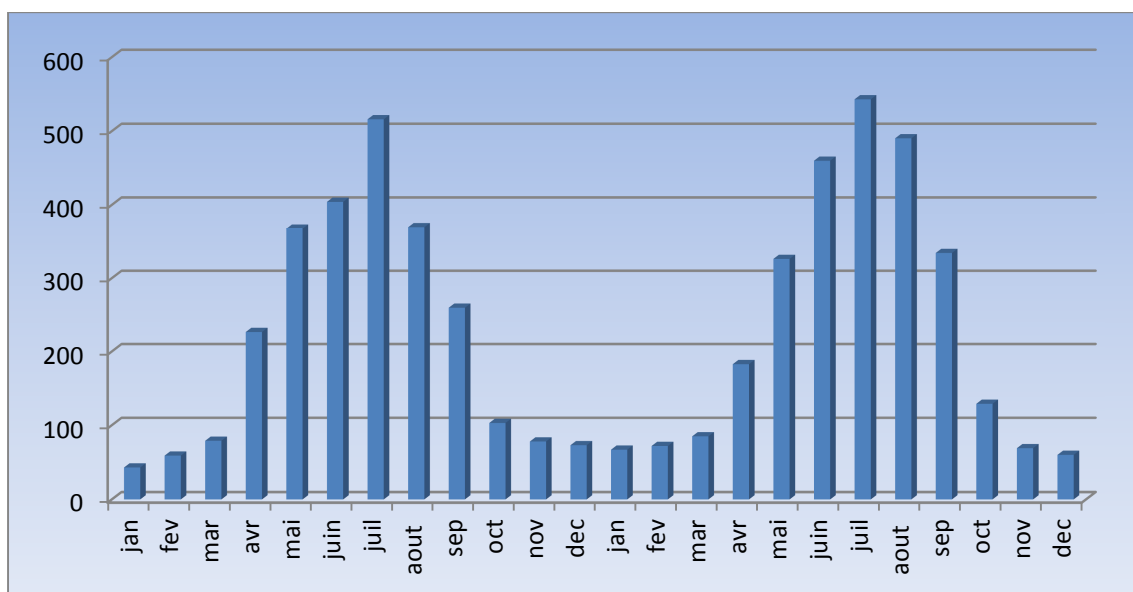


Figure 67: Répartition temporelle des puces échantillonnées toute espèce hôte confondue

D'après Les histogrammes mensuels, représentatifs à la dynamique d'apparition du peuplement de puces dans notre région, nous remarquons deux sommet dans notre figure. Au début de notre étude nous avons une dynamique de plus en plus croissante, la majorité des espèces récoltées sont présentes entre le mois d'avril et septembre, le pic est atteint en mois de juillet. Cependant dès le début du mois d'août nous remarquons une chute d'abondance significative des puces jusqu'à atteindre son minimum en mois de janvier de l'année suivante en corrélation avec la chute de la température.

Les indices sont à nouveau élevés en Mars et Avril avec l'augmentation des températures, au début de la haute saison en mois de mai, nous remarquons une augmentation brutale de l'effectif des puces. Les facteurs climatiques favorables à l'éclosion des œufs, les effectifs augmente jusqu'à atteindre le nombre maximum d'individus récoltée durant notre étude en mois de juillet et aout. Les effectifs chute à nouveau dès le mois de septembre et continue à chuter progressivement jusqu'à la fin de notre étude.

II. 3. 5. 8. Analyse des indices parasitaires

Nous avons calculé les indices parasitaires pour chaque hôte à savoir : le taux d'infestation (la prévalence), l'intensité moyenne et l'abondance (Tableau 15).

Les résultats obtenus montrent que chez les chiens le taux d'infestation de *C. felis* est le plus important avec 72,64%, donnant ainsi à *C. felis* le statut d'espèce dominante, suivi par *C. canis* 17,94%, ce qui en fait une espèce satellite, l'espèce rare est *Archaeopsylla erinacei* avec 0,85%. De même chez les chats, *C. felis* est l'espèce dominante parasitant cet hôte avec un taux d'infestation égale à 92,11% suivi de *C. canis*, *X. cheopis* et *P. irritans* espèces rares. Contrairement aux rats l'espèce *Xenopsylla cheopis* est la plus dominante avec 72,39% du taux d'infestation suivi par *C. felis* 8,85%, espèce rare. Enfin, l'espèce parasite la plus dominante chez le hérisson est *Archaeopsylla erinacei* avec un taux d'infestation de 85,29%, suivi par *C. felis* 23,52%, *Xenopsylla cheopis* et *C. canis* 17,64% se conférant ainsi le statut d'espèces satellites.

D'autre part nous remarquons de faibles intensités parasitaires chez les quatre hôtes. Chez les chats et les chiens c'est l'espèce *C. felis* qui a le rapport le plus élevé. En revanche, chez les rats c'est l'espèce *X. cheopis* qui affiche l'intensité moyenne la plus élevée.

Tandis que chez le hérisson c'est l'espèce *Archaeopsylla erinacei* qui a l'intensité moyenne la plus élevée si l'on se réfère aux limites de Bilong – Bilong & Njiné (1998).

Quant à l'abondance il y'a une prédominance de l'espèce *C. felis* chez le chien et le chat, *Xenopsylla cheopis* chez le rat et *Archaeopsylla erinacei* chez le hérisson (Tableau 15).

Tableau 15: Récapitulatif des indices parasitaires des puces chez tous les hôtes.

Hôte	Espèce de puce	Prévalence (P)	Intensité moyenne (IM)	Abondance (Ab)
Chien	<i>Ctenocephalide. canis</i>	17,94%	16,71	3
	<i>Ctenocephalides felis</i>	72,64%	17,96	13,05
	<i>Archaeopsylla erinacei</i>	0,85%	1	0,08
Chat	<i>Ctenocephalides felis</i>	92,11%	8,66	7,98
	<i>Ctenocephalide. canis</i>	5,41%	3,27	0,17
	<i>Xenopsylla cheopis</i>	1,97%	2,25	0,04
	<i>Pulex erritans</i>	0,49%	2	0,01
Rat	<i>Xenopsylla cheopis</i>	72,39%	0,89	2,52
	<i>Ctenocephalides felis</i>	8,85%	0,14	0,08
Hérisson	<i>Archaeopsylla erinacei</i>	85,29%	23,41	19,97
	<i>Xenopsylla cheopis</i>	17,64%	1,83	0,02
	<i>Ctenocephalides felis</i>	23,52%	5,25	1,23
	<i>Ctenocephalide. canis</i>	17,64%	5,66	1

II. 3. 5. 9. Le sex-ratio (Figure 68)

Les 5396 puces récoltées étaient réparties comme suit, 43,62% de male (2354 individus), et 56,37% de femelle (3042 individus).

$$\text{Sex-ratio} = \frac{\text{nombre de males}}{\text{nombre de femelles}} \quad (\text{Le sex-ratio de ce peuplement est de } 0,773).$$

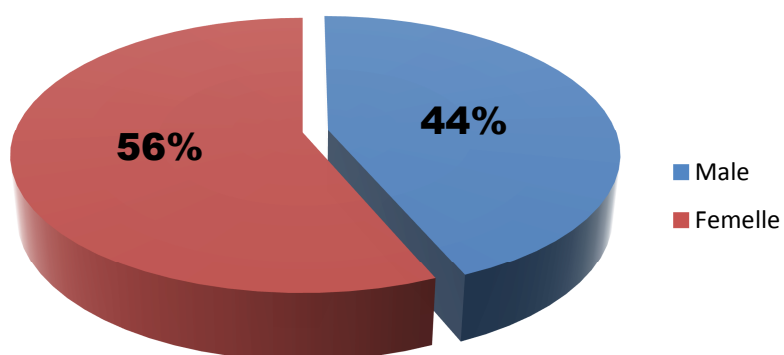


Figure 68: Sex-ratio total des puces récoltées.

Le sex-ratio = **0,773**.

II. 3. 5. 10. Le sex-ratio par espèces

❖ *Ctenocephalides felis*

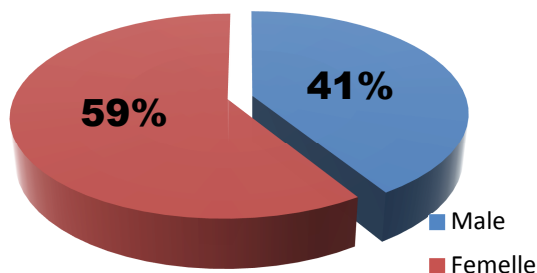


Figure 69: Sex-ratio de *Ctenocephalides felis*

L'espèce *Ctenocephalides felis*, est la plus répandue et la plus contractée lors de notre étude, son pourcentage de 60,78% nous montre son importance et son abondance. La population récoltée est composée de 41% de male et 59% de femelle. Avec un sex-ratio de 0,696.

❖ *Ctenocephalides canis*

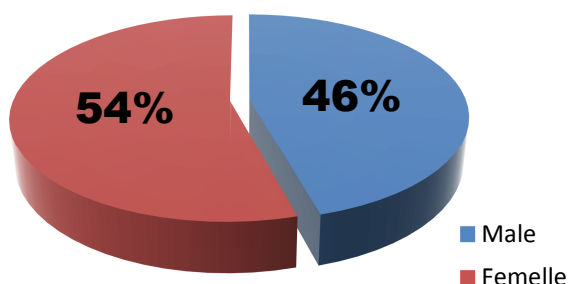


Figure 70 : Sex-ratio de *Ctenocephalides canis*

L'espèce *Ctenocephalides canis*, est une espèce assez commune, son pourcentage était de 7,80%. La population récoltée est composée de 46% de male et 54% de femelle. Avec un sex-ratio de 0,838.

❖ *Xenopsylla cheopis*

L'espèce *Xenopsylla cheopis* est une espèce très répandue, lors de notre échantillonnage son pourcentage était de 18,32%. La population récoltée est composée de 45% de male et 55% de femelle. Avec un sex-ratio de 1,202.

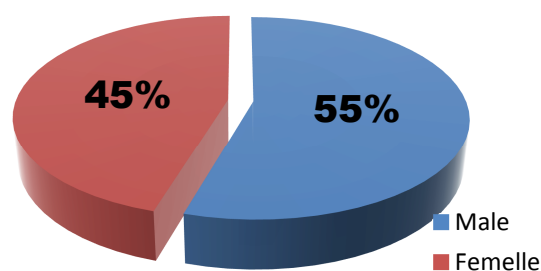


Figure 71: Sex-ratio de *Xenopsylla cheopis*

❖ *Archaeopsylla erinacei*

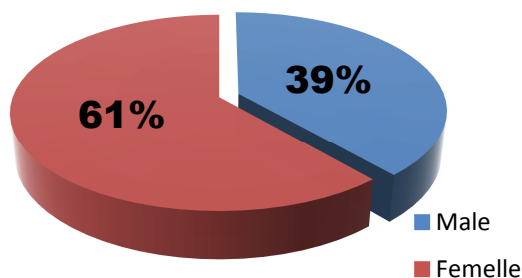


Figure 72: Sex-ratio d'*Archaeopsylla erinacei*

Pour l'espèce *Archaeopsylla erinacei*, le pourcentage était de 13,02%. La population récoltée est composée de 39% de male et 61% de femelle. Avec un sex-ratio de 0,631.

❖ *Pulex irritans*

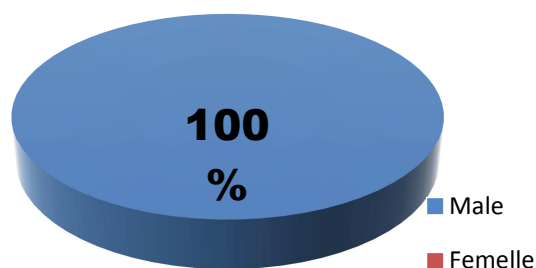


Figure 73: Sex-ratio de *Pulex irritans*

L'espèce *Pulex irritans* est l'espèce la moins répandue lors de notre étude, son pourcentage était de 0,05%. La population étudiée est composée de trois individus seulement qui ont vraisemblablement été contracté lors d'activités de chasse.

II. 3. 5. 11. Influence des conditions climatiques sur l'apparition des puces

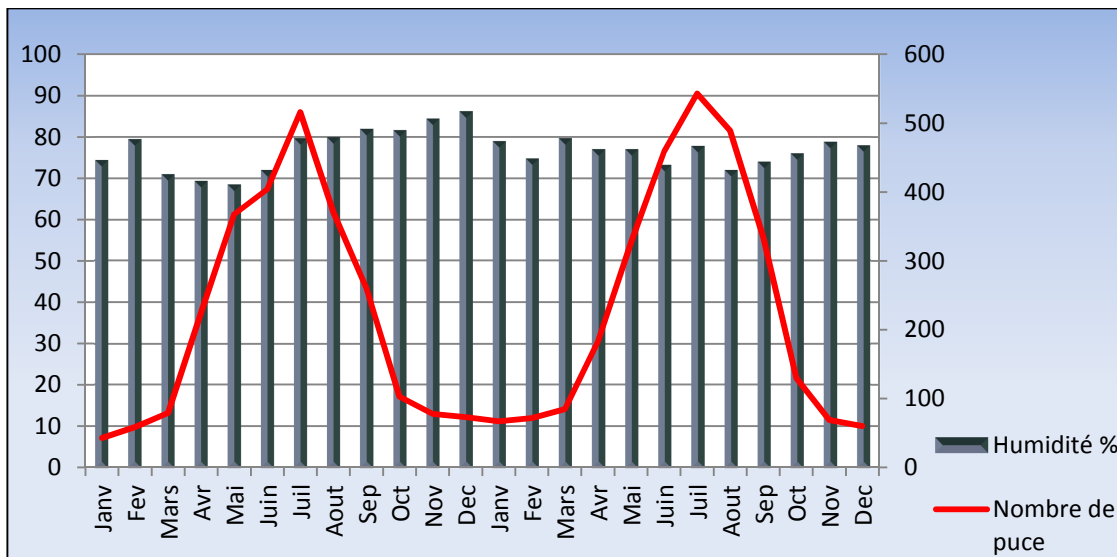


Figure 74 : Répartition des puces en fonction de l'humidité.

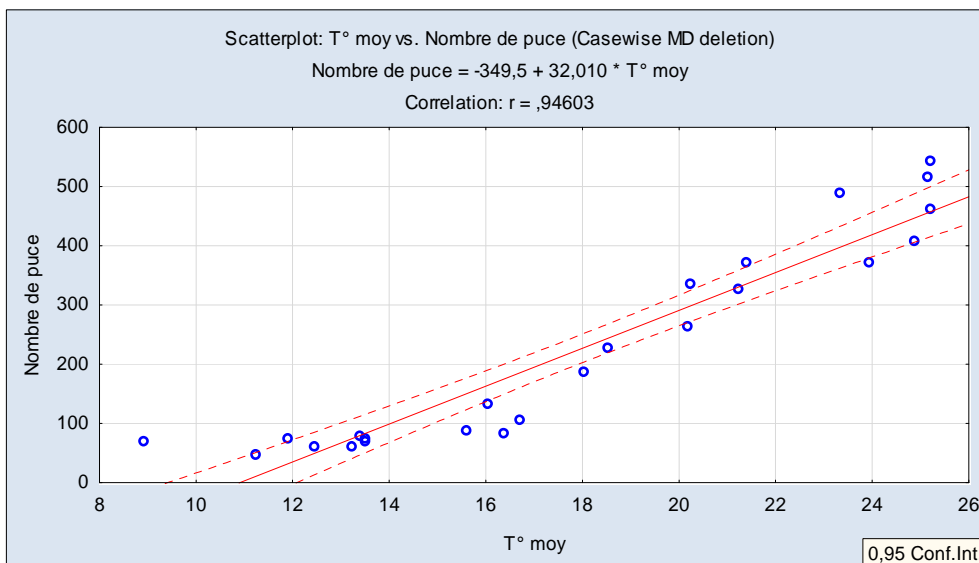
De nombreuses études montrent qu'il existe un rapport étroit entre les conditions climatiques et la fréquence des différentes espèces de puces. Si ces conditions sont favorables à l'évolution et à la longévité d'une espèce donnée, cette dernière sera abondante. Réciproquement, des modifications de ces conditions se traduiront nécessairement par une diminution de la fréquence des puces. Il est donc clair que les changements périodiques des facteurs climatiques peuvent être suivis de fluctuations saisonnières dans la fréquence des puces et que, leurs préférences climatiques variant considérablement, telles ou telles espèces prédomineront aux diverses saisons de l'année. En conséquence, c'est moins souvent le chiffre global des puces que la fréquence relative des diverses espèces qui varie dans une localité donnée, ou sur un hôte donné, au cours des différentes saisons.

Par quel processus les facteurs climatiques influencent-ils le comportement biologique des puces ? Ce problème a donné lieu à de nombreuses recherches. Quelques auteurs, soit Nicoll, (1912), Bacot & Martin (1924) et Goyle (1928) sont arrivés à la conclusion qu'un déficit élevé de saturation de l'atmosphère « pouvoir desséchant de l'atmosphère » exerçait une influence nocive sur les puces adultes (Bacot & Martin, 1924).

Les indices élevés, que l'on enregistre entre le mois de Mai et le mois d'Août, correspondent à la période des plus hautes températures annuelles. Les moyennes sont alors supérieures à 25°, et les maxima se situent entre 26,5° et 31,1°. La saison chaude et sèche, ainsi que le début de la saison des pluies, sont par conséquent favorables à une augmentation de la

population, par l'élévation du taux des éclosions. La chute d'indice, qui débute déjà en Septembre, s'accroît avec la progression de la saison des pluies, jusqu'en octobre. Durant cette période, l'hygrométrie relative moyenne dépasse 80 %, et les températures baissent notablement, les moyennes au-dessous de 17° et les maxima jusqu'à 21,5°, il ne fait pas de doute que cette période est défavorable aux stades préimaginaux, du fait de l'excès d'humidité dans le biotope. A cette époque, tous les milieux naturels insuffisamment aérés sont totalement envahis par les moisissures et les champignons, ennemis naturels des larves de puces, et sont soumis à la décomposition.

La chute d'indices jusqu'au mois de janvier est corrélative à la baisse de la température moyenne jusqu'à 8.9 et de la minima jusqu'au minimum absolu annuel de 5°. Les indices à nouveau élevés en Mars et Avril, sont en liaison avec le début de la saison sèche et fraîche, caractérisé par une chute de l'humidité relative moyenne jusqu'à 77 % et la persistance de



températures favorables aux éclosions.

Figure 75 : *Corrélation entre le nombre de puces et la température moyenne.*

Les corrélations entre les températures (min, max et moy) et le nombre de puces récoltées, sont toutes positives, mais une seule est positivement significative, c'est la corrélation entre le nombre de puces et la température moyenne avec un $r = 0.9460$.

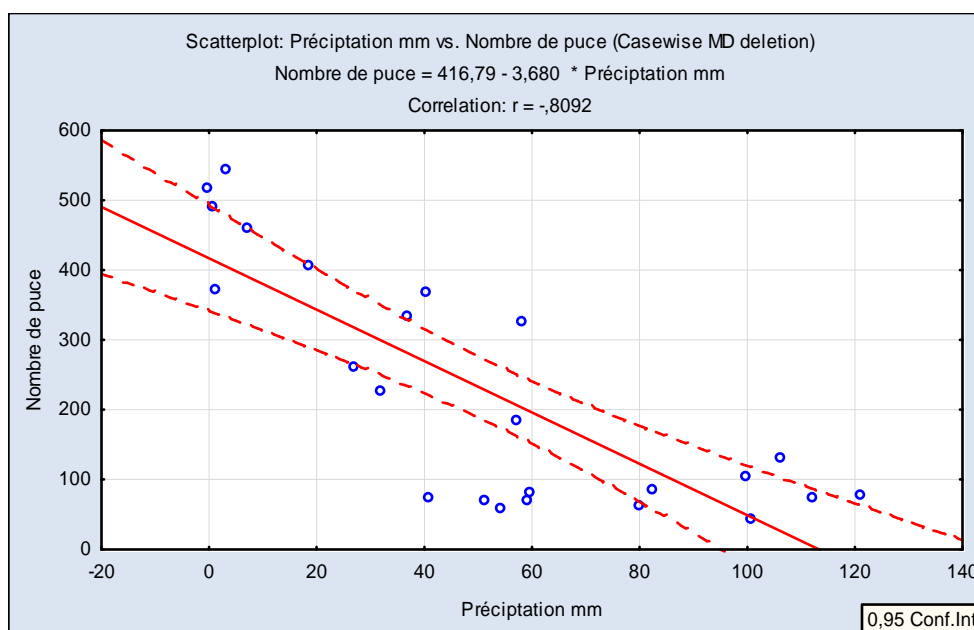


Figure 76: *Corrélation entre le nombre de puces et les précipitations annuelles.*

La corrélation entre les précipitations annuelles et le nombre de puces récoltées est négativement significative, avec un $r = - 0.8092$.

II. 4. DISCUSSION

Les carnivores domestiques peuvent être infestés par plusieurs espèces de puces *Ctenocephalides felis*, *Ctenocephalides canis*, *Xenopsylla cheopis*...etc, Savary de Beauregard (2003). Dans plus de 60% des cas, c'est l'espèce *Ctenocephalides felis* qui est la plus retrouvée chez les animaux aussi bien sauvages que domestiques. Plus rarement des puces de chiens, de rongeurs ou de hérisson peuvent être observées. La sous-espèce présente dans notre région est *Ctenocephalides felis felis*. Elle est peu spécifique (généraliste) et peut prendre son repas sur les mammifères les plus variés (carnivores, lapin, ruminants ou même l'homme), (Savary de Beauregard 2003).

Ctenocephalides felis est l'espèce la plus importante et la plus connue du genre *Ctenocephalides*, elle présente la particularité d'infester des hôtes très diverses contrairement à *Ctenocephalides canis* parasite du chien, *Xenopsylla cheopis* parasite des rongeurs et *Archaeopsylla erinacei* parasite du hérisson qui ont une biologie très spécialisée et qui peuvent être inféodées à des milieux et des hôtes spécifiques. Stocker (1987) affirme qu'*Archaeopsylla erinacei* ne se rencontrent pas sur d'autres animaux. Ce n'est pas tout à fait vrai car certains spécimens ont été retrouvés sur la peau d'un chien à Dublin (Keymer, 1991) et en Algérie (Madoui *et al.*, 2014).

En effet, l'espèce *Ctenocephalides felis* a été observée chez tous les hôtes dans notre étude. L'ensemble de ces données expliquent que sur l'ensemble des puces récoltées 60,78% appartiennent à cette espèce, 18,32% à *Xenopsylla cheopis*, 19,57% à *Archaeopsylla erinacei*, 7,80% à *Ctenocephalides canis*, tandis qu'à *Pulex irritans* n'a été reconnue que dans 0,05% des cas. Notre enquête confirme cette nette prédominance, mais fait aussi ressortir un parasitisme plus varié avec cinq espèces recensées. Celles qui sont déjà connues chez les différents hôtes sont présentes, même si leurs taux d'infestation reste sensiblement inférieurs à celui de *C. felis*.

Avec 60,78% de la population, *Ctenocephalides felis* est loin devant les autres espèces. Cela pourrait s'expliquer par son aire de répartition qui s'étend dans tous les habitats, mais aussi dans le fait qu'elle peut se nourrir sur une grande variété d'animaux sauvages et domestiques.

Ses derniers en contact permanent avec l'homme, augmente le risque de contamination par des agents pathogènes transmis par les puces.

Etudier la faune sauvage et domestique peut se révéler fastidieux comme travail du fait du caractère erratique de quelques animaux. Ceci dit, lors de ces études, plusieurs enjeux rentrent en action notamment des enjeux environnementaux (impact sur la biodiversité, risque d'extinction d'une espèce ou d'une population..), des enjeux scientifiques (inventaire des agents pathogènes, rôle de la pathologie dans l'écosystème), des enjeux en santé publique (zoonose) et des enjeux économiques

(maladies transmissibles au bétail). Parmi les modèles étudiés, les micromammifères et les insectivores constituent un matériel intéressant étant donné qu'en milieu forestier, les insectivores constituent un taxon diversifié et relativement facile à échantillonner, notamment les hérissons et les rats qui occupent une place de choix.

CHAPITRE III

III. 1. INTRODUCTION

Entre toutes les maladies infectieuses émergentes (MIE), les zoonoses représentent une des plus grandes menaces en termes de santé globale (Jones *et al.*, 2008). Parmi ces maladies, la plupart sont provoquées par des microorganismes parasites (virus, bactéries et protozoaires) dont les hôtes sont des animaux qui vivent en relation avec l'espèce humaine (Daszak *et al.*, 2000). En effet, plus de 75% des maladies humaines sont des zoonoses ayant pour origine des animaux sauvages et/ou des animaux domestiques (Taylor *et al.*, 2001). Cependant, les interrelations entre ces différents compartiments sont encore largement méconnues. Ces relations peuvent-elles évoluer dans le temps et dans l'espace ? En quoi l'étude parasitologique de micromammifères dans un contexte de fragmentation d'habitats constitue l'occasion d'interroger et de comprendre les modifications des relations humains/hôtes/parasites ?

Plusieurs facteurs permettent d'expliquer les origines des MIE : les facteurs culturels, les facteurs socio-économiques, les facteurs environnementaux et les facteurs écologiques (Jones *et al.*, 2008). La prise en compte de ces facteurs induit dans la compréhension des relations humains/hôtes/parasites une dimension primordiale, celle des modifications du milieu. D'après Combes (1995), "les cycles de vie des parasites authentiques comportent un nombre inégalé de changements de milieu (les hôtes successifs, les sites successifs dans ces hôtes, des passages dans le milieu extérieur)". De cette manière, il est attendu que les modifications du milieu provoquent des effets en cascade sur les dynamiques hôtes-parasites et facilitent la création de nouvelles conditions pour la circulation des parasites. Le processus de fragmentation des habitats représente l'une des plus grandes causes de l'émergence de nouvelles maladies et de changements dans les interrelations et les dynamiques hôtes-parasites (Patz *et al.*, 2000; Allan *et al.*, 2003; Vaz *et al.*, 2007; Püttker *et al.*, 2007). De plus, la fragmentation augmente potentiellement la probabilité de contacts entre les êtres humains et les animaux domestiques avec la vie sauvage, particulièrement dans les zones où s'installent l'espèce humaine (croissance urbaine, colonisation d'espaces sauvages etc.) (Eymann *et al.*, 2006; Bradley *et al.*, 2006).

Les maladies infectieuses sont un enjeu de société important puisqu'elles sont aujourd'hui responsables de 19 % de l'ensemble de la mortalité humaine mondiale, et représentent même 53 % des décès en Afrique (WHO, 2004). Pourtant, dans les années 1950-60, les progrès liés à l'hygiène et au contrôle des vecteurs, ainsi que le développement des traitements et des vaccins, laissaient espérer une victoire de l'homme face à ses pathogènes (Snowden, 2008).

Cet espoir a vu son apogée en 1979 quand l'organisation mondiale de la santé a déclaré la variole éradiquée à l'échelle mondiale. Cependant, cette confiance a été ébranlée dans les vingt dernières années par la mise en évidence du problème de la résistance des bactéries aux antibiotiques (Spellberg *et al.*, 2008), de l'émergence de certaines maladies comme le SIDA, ou la ré-émergence d'autres telles que la tuberculose (Snowden, 2008).

La nécessité de prendre en compte l'écologie et l'évolution des maladies infectieuses pour comprendre leur dynamique est de plus en plus admise (Schrag & Wiener, 1995), en particulier dans le cas des zoonoses. Ces dernières sont des infections se transmettant naturellement entre des animaux vertébrés et l'homme (définition incluant les pathogènes pour lesquels l'homme est l'hôte principal et d'autres vertébrés les hôtes occasionnels, ainsi que la situation inverse ; Woolhouse & Gowtage-Sequeria, 2005). Les zoonoses représentent environ la moitié des maladies infectieuses humaines (816 espèces de pathogènes sur 1407 connues) et seraient plus fréquemment des maladies émergentes ou ré-émergentes que les infections proprement humaines (Woolhouse & Gowtage-Sequeria, 2005). Comprendre la circulation des maladies dans les réservoirs sauvages est nécessaire pour gérer le risque de transmission, ce qui est actuellement reconnu au travers de l'émergence de l'écologie de la santé. Cette discipline est d'autant plus importante aujourd'hui que les changements globaux actuels influencent la dynamique des maladies infectieuses, et peuvent conduire à l'émergence de pathogènes (Lebarbenchon *et al.*, 2007 ; voir Lilley *et al.*, 1997 pour un exemple concernant l'effet de la déforestation).

En retour, l'écologie peut avoir besoin de comprendre les maladies infectieuses, notamment dans un but de conservation des espèces menacées (Daszak *et al.*, 2000 ; Lafferty & Gerber, 2002 ; Lebarbenchon *et al.*, 2007). L'introduction d'un pathogène peut menacer une espèce en particulier, mais aussi modifier la structure de l'ensemble de la communauté.

C'est le cas par exemple si le pathogène affecte une espèce clé (Collinge *et al.*, 2008), ou bien si le niveau de sensibilité varie selon les espèces d'hôtes, avec par exemple des espèces natives plus sensibles que des espèces introduites, ce qui facilite l'invasion (Van Riper *et al.*, 2002 ; Tompkins *et al.*, 2003). Les modifications de l'écosystème consécutives à l'introduction d'une maladie pourront en retour influencer la transmission de la maladie (Collinge *et al.*, 2008).

En plus de l'écologie, la compréhension des maladies infectieuses peut bénéficier de l'utilisation de concepts d'évolution (Stearns & Koella, 2008), bien qu'il existe encore actuellement un fossé entre les disciplines de la médecine et la biologie évolutive. En effet, les médecins prennent peu en compte l'importance de l'évolution des hôtes et des pathogènes (Nesse & Stearns, 2008), ce qui est

paradoxal car un grand problème médical actuel, la résistance aux antibiotiques (Normark & Normark, 2002 ; Bergstrom & Feldgarden, 2008), est l'un des meilleurs exemples d'adaptation contemporaine, mais le mécanisme de sélection naturelle sous-jacent reste rarement cité dans les revues médicales (Antonovics *et al.*, 2007). La biologie évolutive en revanche s'est intéressée aux maladies infectieuses depuis Darwin et la prise de conscience de l'importance des applications en santé est réelle aujourd'hui (Levin *et al.*, 1999).

La biologie évolutive permet en effet d'étudier l'adaptation des hôtes et des pathogènes (Nesse & Stearns, 2008), notamment l'évolution de la virulence ou de la résistance des pathogènes aux traitements (Galvani, 2003), l'évolution des variations de la résistance / sensibilité de l'hôte (Frank, 2002), ou encore la coévolution entre les acteurs (Woolhouse, 2002). La prise en compte de ces résultats peut améliorer les stratégies de santé publique (par exemple, la prédiction d'une virulence accrue des pathogènes lors de l'utilisation de vaccins imparfaits, Gandon *et al.*, 2001). D'autre part, des méthodes développées en biologie évolutive peuvent être utiles pour l'étude des maladies infectieuses. Notamment, l'étude des relations phylogénétiques entre les pathogènes permet de retracer l'histoire (origine, dispersion géographique) des pathogènes apportant des informations sur leurs modes et routes de transmission (Nesse & Stearns, 2008 ; Archie *et al.*, 2009). L'application de ces méthodes au VIH (Virus de l'Immunodéficience Humaine) a par exemple permis de démontrer ses deux origines simiennes indépendantes (Heeney *et al.*, 2006), ou de retracer certaines voies de transmission entre patients (Ciesielski *et al.*, 1992).

Dans ce chapitre nous avons cherché à évaluer le rôle des puces dans la transmission des agents pathogènes ainsi de détecter les maladies qui leur sont associé, nous avons mis en exergue le rôle de l'espèce *Ctenocephalides felis*. Cette espèce a été choisie comme cible car :

- 1) Elle est déjà reconnue dans notre région en tant que parasite d'un grand nombre de mammifères et micromammifères aussi d'une importance vétérinaire et médicale, comme *Rickettsia* spp.
- 2) Elle est présente en grandes abondances dans notre région (Madoui *et al.*, 2014).
- 3) Elles présentent des comportements synanthropiques et exploitent les environnements urbains où elles trouvent ressources trophiques, abris diurnes, et site de nidification.

Par conséquent, ces caractéristiques contribuent à ce que les représentants du genre *Didelphis* deviennent un lien important entre les cycles sylvestres et domestiques de transmission des parasites.

III. 2. MATERIELS ET METHODES

III. 2. 1. Généralités sur les vecteurs

III. 2. 1. 1. Définition d'un vecteur

Selon l'organisation mondiale de la santé, un vecteur est défini comme un arthropode hématophage, qui assure la survie, la transformation, parfois la multiplication et la transmission d'un agent pathogène infectieux ou parasitaire.

III. 2. 1. 2. Les principaux vecteurs

Par extension, certains métazoaires non arthropodes ont été inclus dans la liste des vecteurs, c'est le cas des annélides achètes (ou sangsues), mais la majorité des vecteurs font partie soit des insectes (en particulier de l'ordre des diptères, brachycères ou nématocères) soit des acariens (et plus précisément du sous-ordre des *Ixodida* regroupant les tiques).

Si les arthropodes et de nombreux agents pathogènes (bactéries, protozoaires, filaires) sont connus depuis longtemps, parfois même depuis l'antiquité, l'existence et le rôle des vecteurs ne sont reconnus que depuis la fin du XIII^{ème} siècle. Les moustiques furent les premiers étudiés : en 1717, Lancisi a supposé leur intervention dans la transmission de la malaria (*Plasmodium*) la preuve en a été apporté en 1884 par Laveran, puis en 1900, R. Ross démontra qu'il s'agissait des moustiques du genre *Anophèles*. Entre temps, P. Manson avait prouvé que les moustiques du genre *Culex* transmettaient les filaires lymphatiques (*Wuchereria bancrofti*). On connaît aujourd'hui l'importance des *Culicidae* dans la transmission de maladies virales (encéphalites), à protozoaires (paludisme) ou dues aux filaires (dirofilariose chez le chien). La transmission de la leishmaniose par des moucheron a été étudiée dès 1786 par l'italien Scopoli, mais le rôle des phlébotomes ne fut clairement établi qu'après les travaux des frères Sergent de 1901 à 1904. La transmission de *Leishmania infantum*, chez le chien ou l'Homme, fut établie par Parrot et Donatien en 1926.

Dans notre travail, ce sont les puces qui nous intéressent et qui feront l'objet d'une étude plus détaillée. Le pouvoir vectoriel des puces est de connaissance plus récent, bien que la peste soit un fléau depuis l'antiquité et ait tué plus de la moitié des européens en 3 ans (1348-1350) au Moyen Age. Son rôle dans la transmission de *Yersinia pestis* a été démontré par Paul Louis Simond en 1897. La connaissance de la transmission d'autres agents pathogènes comme les *Bartonella* est plus récente.

III. 2. 1. 3. Le rôle des vecteurs

Les vecteurs assurent la « récupération » des agents pathogènes chez un hôte, puis leur transport et généralement leur évolution, et ensuite leur transmission à un ou plusieurs hôtes.

On sait aujourd'hui que la transmission n'est pas que mécanique, mais que les vecteurs la favorisent par l'action immuno-modulatrice qu'ils entretiennent au cours de leur repas, notamment par le biais de leur salive.

Durant leur séjour au sein des vecteurs, les agents pathogènes peuvent se transformer, c'est le cas des filaires qui évoluent du stade d'embryon (ou microfilaire) au stade de larve 3 infestante. Cette transmission est dite « évolutive ». Parfois, les agents infectieux ne font que se multiplier chez leur vecteur, c'est le cas des transmissions propagatives observées avec les virus et les bactéries, qui ne sont d'ailleurs parfois pas dénués de pouvoir pathogène pour le vecteur lui-même. Enfin, certains agents pathogènes, c'est le cas de la majorité des protozoaires (*Plasmodium*, *Theileria*, *Babesia*, *Leishmania*) vont à la fois se multiplier et se transformer pour acquérir leur pouvoir infectant chez le vecteur. C'est une transmission cyclo-propagative.

Dans certains cas, la phase sexuée du cycle des protozoaires a lieu chez le vecteur, c'est bien connu pour les agents du paludisme, des babésioses ou des theilérioses. Les vecteurs sont alors aussi les hôtes définitifs des protozoaires, tandis que les vertébrés en sont les hôtes intermédiaires.

Qu'il s'agisse de virus, bactéries ou protozoaires, certains agents infectieux peuvent se transmettre verticalement chez leur vecteur, via les gonades puis les œufs, et ainsi y rester présents durant plusieurs générations. C'est le cas notamment pour certains couples tiques-*Babesia*. Les vecteurs deviennent alors également des réservoirs d'agents pathogènes.

III. 2. 1. 4. Les maladies vectorielles

Aujourd'hui, force est de constater que la liste des agents pathogènes : virus, bactéries au sens large, protozoaires et nématodes ayant une transmission vectorielle s'est agrandie. Mais plus que leur nombre, c'est leur importance médicale et économique, tant en médecine vétérinaire qu'en santé humaine, qu'il faut souligner. La présence d'un vecteur rend la lutte contre ces maladies encore plus difficile, notamment avec l'émergence des phénomènes de chimiorésistance aux insecticides et acaricides. De plus, une majorité de ces maladies sont des zoonoses, les vecteurs réalisant un « pont » entre les humains, les animaux domestiques et bien souvent, la faune sauvage, ce qui rend l'épidémiologie de telles maladies fascinante mais le contrôle d'autant plus difficile.

Récemment, certaines maladies vectorielles ont été qualifiées d'émergentes, ou plutôt de ré-émergentes. En effet, l'épidémiologie des maladies vectorielles n'est pas figée, mais sujette à variations, évolutions, au gré du temps et de nombreux facteurs.

Il faut notamment retenir les interactions avec les modifications sociales et comportementales liées aux activités humaines :

- Augmentation des voyages, plus ou moins éloignés, en compagnie de nos carnivores domestiques, favorisant l'importation de certains agents infectieux dans de nouvelles zones géographiques.
- Retour à la nature, avec augmentation des promenades ou jogging en forêts, bords de lacs...d'où un risque de contact accru, ce qui est observé en ce qui concerne la borréliose de Lyme.
- « Fuite de la population » des centres villes vers la « grande banlieue » et création des zones pavillonnaires avec de nombreux jardins, propices à la multiplication des vecteurs (comme les phlébotomes, vecteurs des leishmanies) mais aussi des hôtes sauvages ou péri-domestiques de certains agents pathogènes (rongeurs).
- Certaines constructions ou aménagements : créations de parcs ou réserves propices aux cycles vecteurs/faune sauvage, aménagements de barrages et travaux d'irrigation propices à la prolifération des arthropodes (néanmoins, pas toujours des meilleurs espèces vectrices).

Certaines études cherchent à inclure les changements climatiques et un éventuel réchauffement planétaire parmi ces facteurs. En ce domaine, les preuves manquent encore et les interventions humaines semblent à l'heure actuelle bien plus importantes.

Ce travail a pour objectif de mettre en avant le rôle des puces en tant que vecteurs d'agents pathogènes, ainsi que de connaître l'importance des maladies vectorielles qui leur sont associées dans notre région.

III. 2. 1. 5. Biologie, Ecologie et rôle vecteur des puces

Comme nous l'avions présenté dans le chapitre précédent, les carnivores domestiques peuvent être infestés par plusieurs espèces de puces : *Ctenocephalides felis*, *Ctenocephalides canis*, *Pulex irritans*, *Archeopsylla erinacei*... Dans plus de 80% des cas, c'est la « puce du chat » (*Ctenocephalides felis*) qui est retrouvée sur les carnivores domestiques. Plus rarement, des puces de rongeurs, de petits carnivores ou insectivores sauvages, ou d'oiseaux, peuvent être observées. La

sous-espèce présente en Algérie est *Ctenocephalides felis felis*. Elle est peu spécifique et peut prendre son repas sur les mammifères les plus variés (carnivores, lapin, ruminants ou homme).

Les piqûres de l'homme ne sont pas rares. Elles se traduisent par des papules prurigineuses, le plus souvent localisées aux membres inférieurs.

La puce est l'ectoparasite le plus courant infestant les carnivores quelque soit leurs mode de vie, rural ou urbain. Elle s'est adaptée à l'environnement extérieur comme aux maisons, et elle peut donc s'observer tout au long de l'année, bien que les infestations soient plus importantes du printemps jusqu'à l'automne (Madoui *et al*, 2014).

La présence des puces est généralement bien tolérée, notamment chez les chats. Dans certains cas cependant, la pulicose va se traduire par un important prurit. Certains animaux vont présenter une dermatite allergique par piqûre de puces accompagnée de lésions cutanées importantes (Savary de Beauregard, 2003).

III. 2. 2. Détection des agents pathogènes

Les maladies transmises par les puces sont potentiellement émergentes dans la plupart des pays, où les puces sont parmi les principaux vecteurs de maladies infectieuses chez l'homme (Brouqui *et al*, 2004 ; Parola, 2004). Or la première étape pour évaluer le risque de contracter une maladie dans une région est de connaître sa prévalence dans la zone. Dans le cas des maladies à transmission vectorielle, cette évaluation commence par la détection de l'agent pathogène responsable dans son vecteur en milieu naturel. Comme évoqué précédemment, la détection des agents pathogènes bactériens transmis par les puces repose à l'heure actuelle sur des techniques moléculaires de PCR présentant l'avantage d'être rapides à mettre en œuvre et sensibles.

Nous avons étudié le portage d'ADN de bactéries pathogènes par les puces *C. felis* que nous avons collectées. Le choix de *C. felis* repose sur le fait qu'il s'agit d'une des espèces de puces les plus fréquentes dans notre région et certainement la plus impliquée dans la transmission de maladies bactériennes à caractère zoonotique.

L'objectif principal de ce travail était de détecter la présence d'agents pathogènes relatives aux genres *Bartonella spp* et *Rickettsia spp*, dans des puces dont on a réalisé le broyage afin d'en extraire l'ADN. Le second objectif était de déterminer la nature des espèces de maladies présentes dans les échantillons s'étant révélés positifs lors de la première détection. Ce travail a été réalisé au Laboratoire d'entomologie de l'Institut Pasteur à Tunis (IPT).

a) *Rickettsia spp*

Bien souvent la détection, et surtout l'identification moléculaire des *Rickettsia sp.* Dans les puces, passe par une étape initiale de culture cellulaire, suivie de l'amplification PCR. Cependant, l'application directe de la PCR à des extraits d'ADN de puce est possible. Il existe différents couples d'amorces, ciblant différentes parties du génome, et permettant l'amplification, soit de l'ensemble des *Rickettsia spp*, soit de certains membres du genre. Un couple d'amorces ciblant un fragment de 380 pb du gène de la citrate synthase est fréquemment utilisé et permet la détection de toutes les *Rickettsia spp* (Annexe 8).

b) *Bartonella spp*

Un gène a été utilisé pour détecter *Bartonella sp.* dans les puces, celui de la citrate synthase (gltA) (Annexe 9).

III. 2. 2. 1. Extraction de l'ADN des puces

Pour cette étude, nous avons utilisé 80 puces adultes dont 40 individus males et 40 individus femelles. Après avoir découpé les puces à l'aide d'un bistouri dans un tube stérile de 1.5 ml, nous avons procédé à l'extraction de l'ADN en utilisant « **PureLink® Genomic DNA kit** » et selon le protocole fourni par les producteurs. La phase de digestion avec la protéinase K (20 µg/ml) a été suivie par une série de lavages, puis par l'éluion finale de l'ADN dans 200 µl de tampon fourni avec le kit. L'ADN extrait a été conservé à -20 °C pour la phase de PCR.

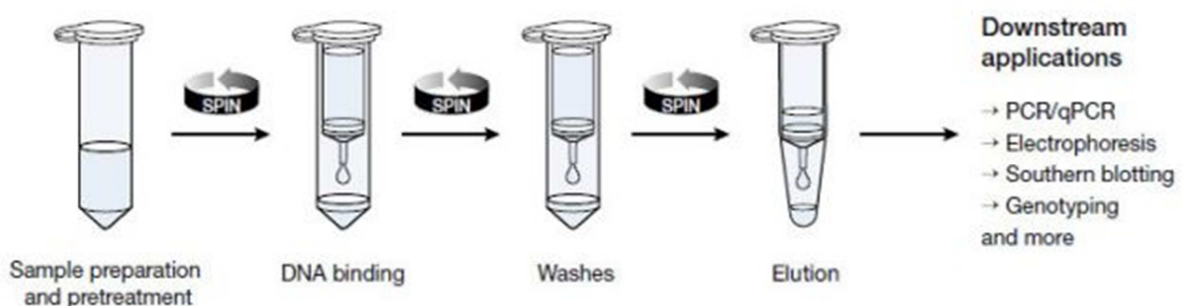


Figure 77: Protocole d'extraction génomique d'ADN selon le kit PureLink®.

III. 2. 2. 2. PCR

a) Avantage de la PCR

Le diagnostic traditionnel des syndromes provoqués par des agents infectieux et parasitaires transmis par des arthropodes se fonde sur la microscopie ou des méthodes sérologiques (c'est le cas des virus, bactéries, protozoaires ou nématodes). Néanmoins, de nombreux agents transmis par les arthropodes comme les *Ehrlichia* sont capables de diminuer les réponses immunes (Shaw. S, kenny. M, 2002). Les analyses microscopiques du sang ou des échantillons de tissus peuvent révéler la présence de micros parasites mais ne permettent pas de quantifier le nombre d'organismes infectant l'animal ni de renseigner sur la gravité de la maladie. Par exemple, l'absence d'*Ehrlichia* sur un frottis sanguin n'élimine pas la possibilité que ces organismes soient responsables des manifestations cliniques observées.

Récemment, des progrès techniques ont rendu possible la détection de l'ADN du parasite dans le sang de l'animal ou dans les prélèvements de tissus. Cette technologie souple a révolutionné la capacité des scientifiques à déterminer la présence d'un grand nombre de pathogènes dans les échantillons cliniques. La PCR présente le double mérite de sa sensibilité et de sa rapidité, ce qui permet aux écologistes et vétérinaires de débiter au plus tôt le traitement approprié, diminuant en conséquence la souffrance de l'animal et minimisant les risques de développement de porteurs chroniques chez les animaux traités de façon inappropriée.

En accédant aux séquences d'ADN des gènes des pathogènes, on peut rapidement identifier des régions d'ADN uniques pour chaque pathogène. Au sens propre, la divergence des séquences d'ADN constitue la phylogénie entre les organismes (Shaw. S, kenny. M, 2001). Ceci signifie que l'on peut reconnaître des séquences conservées à différents niveaux phylogénétiques et définir des tests permettant de reconnaître les membres appartenant à différents groupes, par exemple parmi les bactéries Gram-négatif, le genre *Borrelia*. De tels tests fondés sur l'ADN ont certains avantages par rapport aux méthodes diagnostiques traditionnelles lorsque les micro-organismes poussent difficilement en culture, lorsqu'ils sont présents en faible quantité ou lorsqu'ils dérèglent les fonctions immunitaires.

L'émergence et la « réémergence » des maladies transmises par les arthropodes est un défi pour les médecins mais aussi pour les écologistes, c'est pourquoi, la sensibilité et la spécificité qui nous sont offertes par la technique de PCR, devient un véritable avantage.

Pour ces différentes raisons, le laboratoire d'entomologie de l'institut Pasteur Tunis (IPT) a réalisé l'ensemble des analyses demandées pour cette enquête. Pour chaque échantillon d'ADN de puce réalisé (en tout 80 échantillons), une recherche PCR *Bartonella* et *Rickettsia* a été faite, utilisant des amorces de gènes spécifiques de chaque genre.

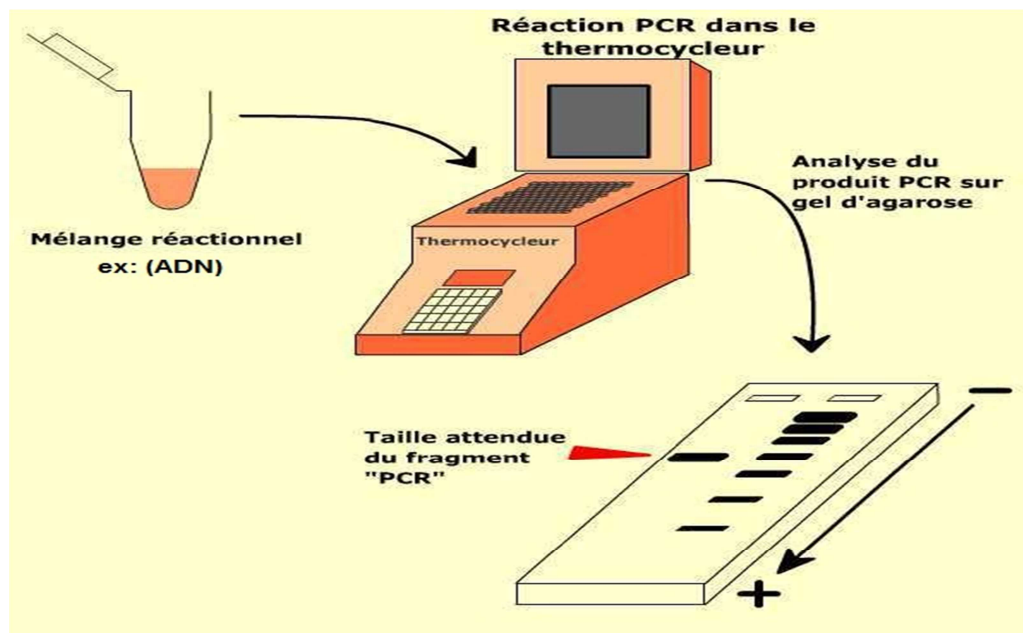


Figure 78: technique de la PCR classique utilisé + lecture sur gel d'agarose.

b) Principe de la PCR "classique" utilisée

La PCR (Polymerase Chain Reaction) ou amplification génomique est une technique très efficace applicable directement sur l'ADN extrait d'échantillons prélevés dans la nature. Elle permet de synthétiser de grandes quantités d'une région génétique choisie, même si la quantité de départ est très faible, à condition de connaître au moins une partie de la séquence (les extrémités appelées amorces ou "primers"). La répétition des cycles de synthèse assure une duplication exponentielle de chaque brin. En général, les étapes sont répétées 30-40 fois, ce qui correspond en principe à une amplification de 230 à 240.

Chaque cycle est divisé en trois parties avec des températures différentes: dénaturation du double-brin d'ADN (94°C), hybridation des amorces sur les brins d'ADN (50 °C - 65 °C) et élongation du brin complémentaire par la Taq polymérase, qui ajoutent les nucléotides (dNTP) dans le sens 5' - 3' (72 °C). La synthèse et la multiplication des séquences choisies permettent d'accumuler suffisamment de matériel pour la suite des analyses.

III. 2. 3. Migration et révélation des produits PCR amplifiés

La purification des produits amplifiés par PCR, donc visualisés sur le gel d'agarose, a été réalisée avec le kit PureLink®, selon le protocole du fournisseur.

Pour ces deux protocoles, les fragments d'ADN amplifiés ont été séparés en fonction de leur taille sur un gel d'agarose à 1,5% (agarose : 1,2 g ; tampon AE 50X : 1,8 mL ; bromure d'éthidium (BET) : 5 μ L ; eau distillée qsp 60 mL). Ce gel est immergé dans du tampon 1X.

Le BET est utilisé comme révélateur des acides nucléiques ; il émet une fluorescence lorsque qu'il est exposé à une lumière ultraviolette.

Un prélèvement de 8 μ L de chaque échantillon amplifié est mélangé avec 2 μ L de tampon de charge (glycérol : 30% ; bleu de bromophénol : 0,25% ; bleu xylène cyanol : 0,25%), dont le rôle est d'augmenter la densité du mélange, donc de faciliter le dépôt de l'échantillon dans les puits, et de pouvoir suivre la migration grâce au bleu de bromophénol.

Un marqueur de taille, choisi pour donner des bandes de 100 à 1000 paires de bases, est déposé dans un puits (à raison de 2,5 μ L) de chaque gel. La migration est effectuée sous 120 V pendant une durée de 45 minutes environ. Une photographie du gel en lumière ultraviolette est prise à l'issue des 45 minutes de migration.

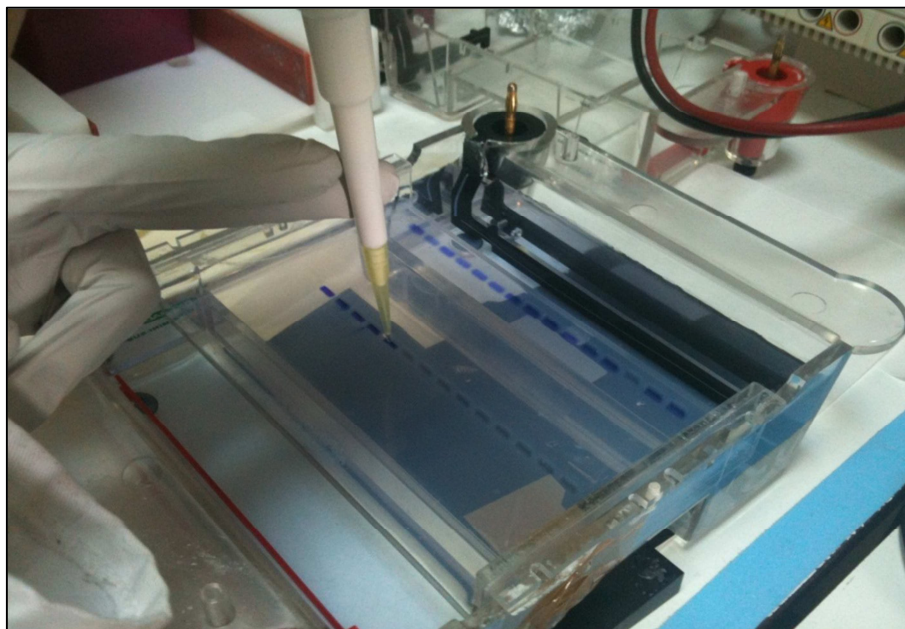


Figure 79 : électrophorèse en gel d'Agarose photo prise par Madoui le 17/11/2011.

III. 2. 4. Séquençage

Le séquençage de l'ADN détermine la succession des nucléotides qui le compose. Des molécules fluorescentes sont incorporées à l'ADN par l'intermédiaire des di-désoxyribonucléotides (ddNTP) marqués chacun avec un fluorochrome de couleur différente (dichloro [R6G] pour A, dichloro [ROX] pour C, dichloro [R110] pour G et dichloro [TAMRA] pour T). Les ddNTP diffèrent des dNTP par l'absence d'un groupement OH en position 3' et provoquent ainsi l'arrêt aléatoire de la synthèse du brin d'ADN car l'ADN polymérase n'est plus capable de rajouter le moindre nucléotide à sa suite. L'échantillon d'ADN à déterminer est injecté dans un capillaire contenant un polymère. Les deux extrémités du capillaire, plongées dans une solution tampon, sont soumises à un champ électrique qui provoque la migration des fragments vers l'anode. Le séquenceur est ensuite capable de reconnaître les extrémités fluorescentes des brins d'ADN par détection des différents signaux émis par les fluorochromes excités par un faisceau de rayon laser situé à la fin du capillaire. La fluorescence émise est lue grâce à une camera CCD ("charge-coupled device") à très haute résolution, laquelle révèle l'émission en fluorescence des échantillons analysés, en offrant en quelques minutes l'électrophérogramme (série de pics colorés) avec la relative séquence de bases. Le séquençage des échantillons positifs, dans les deux directions, a été fait en utilisant le ABI Prism Big Dye Terminator Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems) selon les indications du fournisseur.

III. 2. 4. 1. Primers et réaction de séquençage

Les primers utilisés et le mode opératoire sont décrits dans les annexes 8 et 9.

III. 2. 4. 2. Purification des séquences

La purification a été faite en utilisant des colonnes PERFORMATM DTR Gel Filtration Cartridges (Edge BioSystem, Lyfe Systems Design) selon les indications des fournisseurs.

III. 2. 4. 3. Chargement sur le séquenceur et lecture des résultats

Dans un tube de 0.5 ml propre au séquenceur, 5 µl de l'échantillon purifié sont mélangés avec 15 µl de H₂O filtrée (0.2 µm) stérile. Le séquenceur utilisé est un ABI PRISM 310 Genetic Analyser (Applied Biosystems). Après préparation de l'appareil et chargement selon les instructions du fournisseur, la lecture des séquences est faite automatiquement.

III. 3. RESULTATS

III. 3. 1. Extraction d'ADN et contrôle de l'extraction

L'ADN des pools de puces adultes a été extrait selon le protocole mis au point (Annexe 1) et nous a permis d'obtenir 20 échantillons d'ADN de puces de *C. felis* répartis en quatre groupes de cinq échantillons d'ADN, chaque groupe contient des puces récoltées sur un hôte précis (chiens, chat, hérissons, rats).

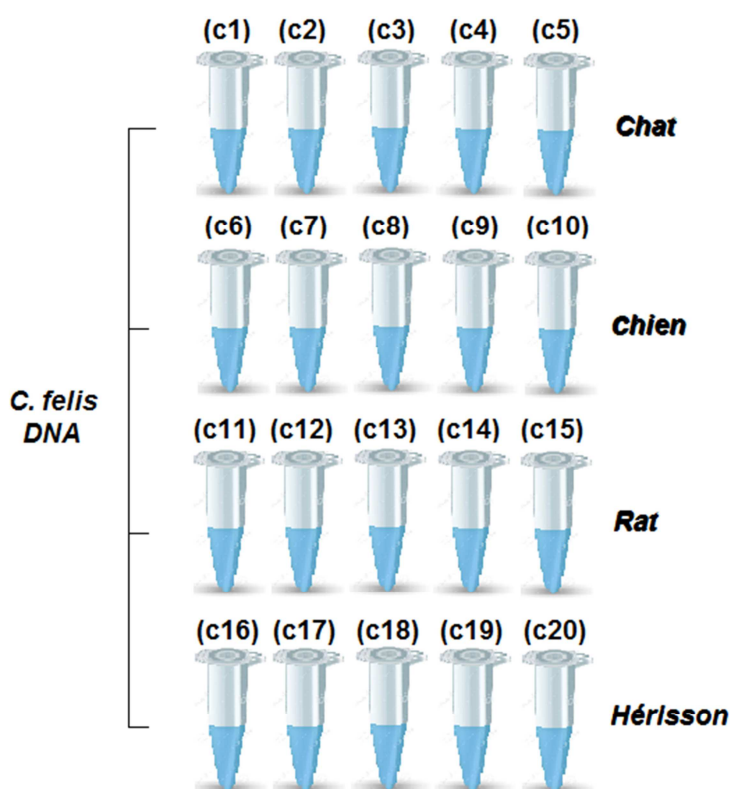


Figure 80: répartition de l'ADN extrait des puces C. felis pour chaque hôte.

III. 3. 2. Amplification par PCR spécifique de l'ADN des bactéries pathogènes

Toutes les réactions PCR ont été réalisées dans un thermocycleur Whatman® Biométra. Chaque réaction a été conduite dans un volume final de 25 μ L, contenant 5 μ L d'extrait d'ADN de tique, 2,5 μ L de tampon PCR, 0,5 μ mol/ μ L de chaque amorce, 2,5 mM de chaque dNTP (Taqara biomedical group, Shiga, Japan), 1 U de Taq polymérase. Un témoin négatif (eau stérilisée) et un témoin positif ont été inclus à chaque expérience.

La séquence située entre les gènes codant pour les ARN ribosomiaux 16S et 23S à la recherche des *Bartonella* et des *Rickettsia* est longue et variable. Si l'analyse complète de la séquence a été

proposée (Houpikian et Raoult, 2001) les impératifs cliniques ont conduit Minnick et Barbian (1997) puis Jensen et al. (2000) à mettre au point des techniques rapides en une étape, spécifiques de genre et d'espèces. Chaque espèce est caractérisée par une « signature », c'est à dire un fragment amplifié de taille spécifique pour les espèces incluses dans les études de ces auteurs, dans notre cas nous sommes à la recherche du genre (*Rickettsia sp* et *Bartonella sp*).

La présence d'ADN de *Rickettsia sp* et de *Bartonella sp* a été testée en utilisant une Analyse d'électrophorèse sur gel d'agarose à 2 %. Le témoin positif de *Rickettsia sp* était un extrait d'ADN de *Rickettsia conorii*, celui de *Bartonella* était un extrait d'ADN de *Bartonella henselae*, aimablement fourni par le Professeur Ali Bouattour de l'Institut Pasteur Tunis.

Les séquences des amorces ainsi que les conditions de réactions PCR sont résumées en Annexe ?

III. 3. 3. Détection d'ADN d'agents pathogènes

III. 3. 3. 1. Détection des échantillons potentiellement porteurs de *Bartonella spp*

Les analyses moléculaires d'amplification génique (Polymerase Chain Reaction) n'ont pas permis de détecter la présence d'ADN de *Bartonella* dans les puces, quatre-vingt spécimens de puces ont pu être analysés à l'aide de cette technique.



Figure 81 : Migration sur gel d'agarose des produits d'amplification de la PCR avec amorces spécifiques de la séquence intergénique 16S 23S de *Bartonella* (cliché pris par Madoui le 18/10/2011).

III. 3. 3. 2. Détection des échantillons potentiellement porteurs de *Rickettsia spp*



Figure 82 : Migration sur gel d'agarose à 1,5 % des produits d'amplification de la PCR avec amorces spécifiques de la séquence 23S de *Rickettsia spp* (cliché pris par Madoui le 18/10/2011).

Sur les 20 échantillons d'ADN, trois fragments amplifiés ont donné un résultat positif en PCR spécifique pour *Rickettsia spp* de 190 pb (figure 82). Parmi ces échantillons, un échantillon « N9 » appartient aux puces récoltées sur chats, les deux autres échantillons été des puces récoltées sur rats.

Ainsi, les trois produits PCR positifs pour *Rickettsia sp* ont été séquencés. Deux séquences (N11, N12) obtenues (accession number = AM055829) étaient identiques entre elles et toutes identiques à 100% avec la séquence du gène (Sequence 5'-3': TAATGTTATACCGTGGTCCCGC) responsable de de *Rickettsia felis*. Une séquence (N9) été identique à 98% avec la séquence du gène responsable de *Rickettsia felis* mais présentait une qualité de séquence moins bonne.

III. 3. 4. Analyse du taux de portage

Pour estimer la probabilité de portage individuel des puces au sein d'un pool, trois hypothèses ont été considérées comme admises. La première est que si l'un des agents pathogènes est détecté dans un pool cela signifie qu'au moins l'une des puces du pool est porteuse de l'ADN de l'agent de *Rickettsia spp.* La seconde est que l'infection d'une puce au sein d'un pool est indépendante de celle des autres puces du même pool. La dernière est que si un pool donne un résultat négatif en PCR cela signifie qu'aucune des nymphes qui le constituent n'est porteuse de l'ADN ciblé. Il est nécessaire de prendre en compte la taille du pool.

La probabilité «qi » de détecter l'ADN d'une bactérie dans un pool, donc d'obtenir un résultat de PCR positif pour un pool, s'écrit $q_i = 1 - (1-p)^{n_i}$.

- p est la probabilité qu'une puce soit porteuse d'ADN d'une bactérie donnée.
- ni est le nombre d'individus par pool.
- (1-p) est la probabilité qu'une puce ne porte pas l'ADN d'une bactérie donnée.
- (1-p).ni est la probabilité qu'un pool ne soit pas porteur d'ADN d'une bactérie donnée.

Le taux de portage d'une puce observé pour *Rickettsia felis* est de **0,273**.

III. 4. DISCUSSION

Les puces restent un groupe d'insectes relativement peu étudié actuellement, alors qu'elles sont vectrices d'un grand nombre d'agents pathogènes, elles devraient faire l'objet d'études plus approfondies. En effet, l'étude des connaissances des phénomènes qui gouvernent la relation puces-agents pathogènes sont essentielles à la dynamique et à l'évaluation du risque représenté par les maladies vectorisées.

Au cours de cette étude, l'analyse moléculaire d'amplification génique (Polymerase Chain Reaction) n'a pas permis de détecter la présence d'ADN du genre *Bartonella* dans les puces. Quatre-vingt spécimens de puces *Ctenocephalides felis* ont pu être analysés à l'aide de cette technique.

Cependant, nous avons pu mettre en évidence la présence d'ADN de *Rickettsia spp* par la détection *Rickettsia felis* dans les espèces de puces collectées et donc confirmer la circulation de ces agents pathogènes dans notre région.

Rickettsia felis (*R. felis*) a initialement été identifiée dans des puces de chat pour la première fois en 1918 en Europe sous le nom de *Rickettsia ctenocephali* (Raoult *et al.*, 2001). Puis, cette bactérie a été redécouverte en 1990 aux USA dans des puces de chat et nommée ELB agent (Sikora, 1918). C'est une bactérie intracellulaire stricte classée dans la sous-division alpha des *Proteobacteria* et dans le groupe boutonneux au sein du genre *Rickettsia*, à la différence des rickettsies du groupe boutonneux dont la température de croissance optimale est de 32°C et de celles du groupe typhus qui cultivent à 35°C, *R. felis* préfère une température de 28°C (Raoult *et al.*, 2001 ; Adams *et al.*, 1990). Cette bactérie est classée parmi les micro-organismes de niveau de sécurité biologique 2.

Rickettsia felis est responsable de la fièvre boutonneuse à puces (ou pseudo-typhus californien) (Raoult *et al.*, 2001). Cette rickettsiose est transmise à l'homme par la puce du chat *Ctenocephalides felis*. La fièvre boutonneuse à puces est endémique dans de nombreuses régions du monde. Initialement confondue avec le typhus murin aux USA, la fièvre boutonneuse à puces est une maladie bénigne dont le spectre clinique et la fréquence sont inconnus (Rolain *et al.*, 2003). C'est une zoonose dont l'agent a été identifié sur tous les continents : en Amérique du Nord (USA) (Higgins *et al.*, 1994), Centrale (Mexique) (Zavala-Velazquez *et al.*, 2002) et du Sud (Pérou, Brésil) (Blair *et al.*, 2004 ; Oliveira *et al.*, 2002), en Europe (France, Espagne, Grande-Bretagne) (Rolain *et al.*, 2003 ; Marquez *et al.*, 2002 ; Kenny *et al.*, 2003), en Afrique (Ethiopie, Algérie) (Raoult *et al.*, 2001 ; Madoui *et al.*, 2014), en Asie (Thaïlande) (Parola *et al.*, 2003) et en Océanie (Nouvelle-

Zélande) (Kelly *et al.*, 2004). En effet, chez la puce, *R. felis* est transmise de génération à génération par voie transovarienne (Wedincamp & Foil, 2002). L'infection par *R. felis* ne modifie pas le comportement ni la durée de vie des puces.

Une étude menée par Khaldi *et al.*, (2012) à M'silla et Bordj-Bou-Argeridj a montré que 387 puces appartenant à *Archeosylla erinacei* capturée sur 36 hérissons, 95,5% d'entre elles étaient porteuse de *Rickettsia felis*. Cette enquête vient de confirmer les résultats obtenus dans notre étude sur la présence de *Rickettsia felis* dans le nord de l'Algérie ainsi que le nord de l'Afrique.

La connaissance précise du statut médical de la population humaine et animale dans les zones étudiées par rapport aux agents ciblés est également fondamentale et des études doivent être menées en parallèle à toute investigation de portage chez les vecteurs.

Si des études de séroprévalence humaine existent, nous ne disposons pas du même recul en ce qui concerne les animaux domestiques et surtout sauvages. Or, la plupart des maladies infectieuses vectorisées sont des zoonoses possédant un réservoir sauvage. Certaines, comme la peste, sévissent dans les populations animales domestiques, ont un potentiel infectieux chez l'homme, et pourraient donc émerger à la faveur d'une modification infime de l'environnement. L'étude de telles affections, intimement liées à l'environnement et impliquant de nombreuses espèces animales vertébrées et invertébrées, nécessite une collaboration étroite entre de nombreux corps de métiers, chercheurs, médecins mais aussi spécialistes de la faune sauvage notamment les écologistes. Il est nécessaire de traiter le maximum d'informations aussi bien formelles qu'informelles et d'évaluer leur degré de pertinence.

Cette étude, vient de générer de nouvelles données et apporter une progression dans le domaine de l'épidémiologie des siphonaptères pour notre région et dans le nord-est d'Algérie.

Il serait intéressant d'instaurer un système d'épidémio-surveillance efficace, permettant le contrôle ainsi qu'une gestion adéquate de la situation épidémiologique dans notre région.

Etudes expérimentales et épidémiologiques doivent se nourrir les unes des autres et seule la combinaison de l'ensemble de leurs résultats permettra de comprendre les mécanismes intimes qui régissent la transmission d'agents pathogènes par les puces et peut être un jour de relever le défi qu'est la prédiction de l'émergence d'une maladie.

CONCLUSION GÉNÉRALE

IV. CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Ce travail a tenté, dans les grandes lignes, de mettre en évidence les facteurs déterminant la diversité et de la distribution des puces parasites de mammifères dans l'une des régions les plus peuplées d'Algérie. Aussi, nous avons systématiquement récolté les puces parasites chez les individus capturés, visant à comprendre les causes et effets du parasitisme chez les populations animales sauvages et domestiques et les possibles liens avec l'émergence et réémergence de maladies chez les animaux et les êtres humains.

Cette étude vient d'actualiser et de compléter les connaissances sur les espèces de puces dans le nord d'Algérie et confirme la présence d'une importante richesse spécifique des *siphonaphères* dans notre région.

Dans les fragments de forêt de l'Edough de la région, la communauté de mammifères sauvages a été représentée par le hérisson, particulièrement par l'espèce *Atelerix algirus*, qui a été capturée dans presque tous les sites échantillonnés. Contrairement aux rongeurs qui ont présenté des distributions plus restreintes et étaient généralement capturés près des maisons en milieu urbain. L'espèce *Rattus rattus* été la seule espèce de rongeur trouvée et qui a représenté 90% du nombre total d'individus des animaux sauvages capturés au long de l'échantillonnage.

Les animaux domestiques représentés par plusieurs espèces de chats et de chiens, ont présentés une large distribution. Contrairement aux animaux sauvages ils peuvent fréquenter le milieu rural comme l'urbain.

L'étude des interrelations entre mammifères et leurs espèces de puces dans les différents fragments de la région a permis de détecter la présence de cinq espèces de puces. Nous avons montré que l'espèce *Ctenocephalides felis* été l'espèce la plus abondante, avec un taux de 61% des puces récoltées. Ainsi que la plus généraliste par rapport aux nombres d'espèces hôtes exploitées. En effet, *Ctenocephalides felis* a été retrouvée chez tous les hôtes. Aussi bien en milieu urbain, qu'en milieu rurale, près de 41% des animaux étudiés été infestés par cette puce.

Elle est l'espèce la plus importante et la plus connue du genre *Ctenocephalides*, elle présente la particularité d'infester des hôtes très diverses qu'ils soient sauvages ou domestiques, contrairement aux autres espèces qui ont une biologie très spécialisée et qui peuvent être inféodées à des milieux et des hôtes spécifiques.

Une autre espèce du genre *Ctenocephalides* a été identifié, *C. canis* est l'espèce de puce qu'on rencontre généralement chez le chien. Cependant elle a été retrouvée chez le chat et le hérisson, près de la moitié du nombre d'individus récoltés appartenant à cette espèce a présenté une préférence au

climat montagnard de plus de 400 m d'altitude. Toutes les autres espèces de puces ont présentées une certaine spécificité parasitaire.

Suite au fait que l'espèce *Ctenocephalides felis* représenté la majorité du peuplement de puces étudié, nous avons analysé plus en détail cette espèce. Pour cela une étude épidémiologique a été menée afin de détecter les différents agents pathogènes présents dans *Ctenocephalides felis* et les maladies qui leurs sont associées.

Les résultats de l'étude épidémiologique sur *Ctenocephalides felis*, ont permis de détecter un seul agent pathogène *Rickettsia felis*. Cet agent est responsable de la fièvre boutonneuse à puces (ou pseudo-typhus californien). L'infection des puces vectrices se fait au cours du repas sanguin. Les parasites sanguins, sont alors susceptibles d'être ingérés par les puces. La puce peut jouer le rôle de simple hôte passager, mais elle peut aussi assurer la multiplication d'un agent pathogène et même son évolution.

Ainsi une des espèces les plus abondantes des fragments urbains s'avère être un potentiel réservoir et/ou vecteur d'une bactérie responsable d'infections potentielle pour l'homme qui est en contact permanent avec les animaux domestiques, augmentant ainsi considérablement la probabilité de contamination.

La présente étude met en évidence le rôle central des espèces animales (sauvages ou domestiques), comme réservoirs et hôtes de diverses espèces de puces présentant un intérêt pour la santé publique. *Ctenocephalides felis* par son comportement ubiquitaire, étant présent dans le milieu rural aussi bien que dans l'environnement urbain et périurbain, lui confère la fonction potentielle de pont épidémiologique entre ces différents écosystèmes, ce qui augmente les probabilités de transmissions parasitaires, le transfert d'hôtes et conséquemment l'occurrence des phénomènes de réémergence de maladies chez l'être humain.

Le processus inverse peut aussi se produire et les individus infectés dans les environnements périurbains peuvent entrer dans les fragments de forêt et transmettre les parasites dans un cycle sylvestre, affectant ainsi les espèces sauvages. La relation entre les modifications de la matrice paysagère et l'écologie des mammifères hôtes d'agents étiologiques de maladies comme le typhus murin et d'autres maladies, comme la rickettsiose mérite donc d'être largement approfondies d'étude afin de comprendre l'émergence et l'écologie de nouvelles maladies humaines et animales.

Cependant, nos travaux doivent être complétés par une enquête séroépidémiologique afin d'apprécier le degré d'exposition des populations humaines à *Rickettsia felis*. De plus, la sensibilisation des cliniciens devrait permettre de décrire les cas humains de rickettsiose dans notre région. En effet l'étude du parasitisme chez les mammifères complète les connaissances sur l'histoire de vie des espèces d'hôtes et de parasites, et apporte beaucoup plus d'informations que des

études isolées d'écologie et de parasitologie ou d'épidémiologie. L'éco-épidémiologie, et l'écologie de la santé appliquée à la biologie de la conservation sont des exemples de domaines de connaissances en plein essor qui doivent s'intégrer dans les recherches sur l'écologie des mammifères et profiter d'un effort d'échantillonnage souvent épuisant.

Cette étude amène des résultats intéressants et inédits pour notre région, malgré plusieurs réponses à divers aspects épidémiologiques et écologiques des puces fournies par cette recherche, certaines questions demeurent et nécessiteront un suivi de quelques années sur le peuplement de puces afin de mieux cerner le comportement des agents pathogènes responsables de plusieurs maladies.

Les puces restent un groupe d'insectes relativement peu étudié actuellement, alors qu'elles sont vecteurs de maladies émergentes ou ré-émergentes comme nous l'avons présenté dans cette étude. De plus, les entomologistes spécialistes des puces encore en activité sont peu nombreux et l'expertise en systématique et en éco-épidémiologie des maladies transmises risque de disparaître. Enfin, ces dernières années, les puces, comme d'autres arthropodes, ont été utilisées comme outils épidémiologiques pour l'étude des maladies infectieuses émergentes ou ré-émergentes. Des bactéries, connues ou inconnues, pathogènes ou dont la pathogénicité reste en suspens, ont été détectées dans des puces par biologie moléculaire. Si cela ne signifie pas forcément que la puce en question est vecteur du micro-organisme détecté, cela permet de connaître la présence de ce dernier dans la zone étudiée. Les puces pouvant facilement être collectées et conservées dans de l'alcool à 70°, elles peuvent ensuite être testées par PCR dans des laboratoires disposant du plateau technique nécessaire. Cela peut permettre également d'établir des collaborations dans la recherche et la lutte contre les maladies infectieuses.

L'étude du parasitisme chez les mammifères complète les connaissances sur l'histoire de vie des espèces d'hôtes et de parasites, et apporte beaucoup plus d'informations que des études isolées d'écologie et de parasitologie ou d'épidémiologie. L'éco-épidémiologie, et l'écologie de la santé appliquée à la biologie de la conservation sont des exemples de domaines de connaissances en plein essor qui doivent s'intégrer dans les recherches sur l'écologie des mammifères et profiter d'un effort d'échantillonnage souvent épuisant.

En conclusion, exterminer les populations de puces ne semble pas évident, donc il faudra vivre avec tout en essayant de réduire leurs conséquences néfastes sur la santé humaine et animale ainsi que sur l'économie. La mise en place de réseaux de surveillance est une étape indispensable pour permettre un suivi de la progression des maladies à puces. De tels réseaux permettent aussi une réaction rapide en cas de progression inhabituelle des populations de vecteurs.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Adrian, G. Marshall (1967)** : The cat flea, *Ctenocephalides felis felis* (Bouché, 1835) as an intermediate host for cestodes, *Parasitology* / Volume 57 / Issue 03 / August 1967, pp 419-430.
2. **Akimoto, H (2003)** : Global Air Quality and Pollution. *Science* 302 : 1716-1719.
3. **Akin, D.F (1984)** : Relationship between feeding and reproduction in the cat flea, *Ctenocephalides felis* (Bouche). *Masters Thesis* : Gainesville, University of Florida : 1984. 117.
4. **Allan, B. F., F. Keesing, and R. S. Ostfeld (2003)** : Effect of forest fragmentation on Lyme disease risk. *Conservation Biology* 17: 267–272.
5. **Antonovics J., Abbate J.L., Baker C.H., Daley D., Hood M.E., Jenkins C.E., Johnson L.J., Murray J.J., Panjeti V., Rudolf V.H.W., Sloan D. & Vondrasek J. (2007)** : Evolution by any other name: Antibiotic resistance and avoidance of the E-word. *Plos Biology* 5: 137-140.
6. **Archie E.A., Luikart G. & Ezenwa V.O. (2009)** : Infecting epidemiology with genetics: a new frontier in disease ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 24: 21-30.
7. **Aubert A (2001)** : Hérissons, Taupes et Musaraignes : une pépinière d'espèces. *Conf. Inst. municipal, Angers*. 3 (21 février 2001) : 1-13.
8. **Aubert A (2002)** : Le Hérisson. Cours univ. temps libre, Cholet (25 nov.) : 1-19.
9. **Aubert A (2005)** : Utile et familier : le Hérisson. *Bull. Soc. Lettres, sciences et arts du Saumurois* : Saumur : 86 – 88.
10. **Avidor B, Graidy M, Efrat G Et Coll (2004)** : *Bartonella koehlerae*, a new cat - associated agent of culture - negative human endocarditis. *J Clin Microbiol* 2004; 42: 3462-8.
11. **Azada F, Radulovic S, Higgins Ja Et Coll (1997)** : Flea-borne rickettsioses: ecologic considerations. *Emerg Infect Dis* 1997; 3: 319-27.
12. **Bacot Aw (1914)** : A study of the bionomics of the common rat fleas and other species associated with Human habitations, with special reference to the influence of temperature and humidity at various periods of the life-history of the Insect. *J Hyg Plague* 1914; 447-651.
13. **Bacot Aw & Martin CJ (1914)** : Observations on the mechanism of the transmission of plague by fleas. *Journal of Hygiene* ; Suppl 3: 423-439.
14. **Bacot, A. W. & Martin, C. J. (1924)** : the longevity of the rat flea, *Xenopsylla cheopis* in *J. Hvg., camb.* 23, 98.
15. **Baltazard M (1960)** : Déclin et destin d'une maladie infectieuse : la Peste. *Bull OMS* 1960 ; 23 : 247-62.
16. **Baltazard, M., & Eftekhan, M. (1957)** : Techniques de récolte, de manipulation et d'élevage des puces de rongeurs *Bull. Org. mond. Santé.* **16**, 436.
17. **Beaucournu J.C. (1973)** : Notes sur les siphonaptères parasites de carnivores en France. *Ann. Parasitol. hum. comp.*, **48** (3), 497-516.
18. **Beaucournu J.C. (1975)** : Contribution à l'étude des siphonaptères de Catalogne française et espagnole. *Vie Milieu*, **25** (1), 69-86.

19. **Beaucournu J.C. (1976)** : Notes sur les *Ceratophyllidae* de la faune française inféodées aux mammifères. Première partie : répartition, biologie. *Ann. Soc. entomol. Fr. (nouv. sér.)*, **12** (2), 199-213.
20. **Beaucournu Jc (1982)** : Les siphonaptères et leurs hôtes : rapports phylétiques, convergences et déviations. In Deuxième Symposium sur la spécificité parasitaire des parasites de vertébrés, 13-17 avril 1981. *Mémoires de Muséum d'Histoire Naturelle, n. s., série A, Zoologie*, 1982, n °123, 203 – 208.
21. **Beaucournu J.C & Launay H. (1990)** : Les puces (*Siphonaptera*) de France et du bassin méditerranéen occidental. Paris : Fédération Française des Sociétés de Sciences Naturelles. p 548.
22. **Beaucournu J.C & Menier K. (1998)** : Le genre *Ctenocephalides*, Stiles et Collins, 1930 (Siphonaptera, Pulicidae). In *Parasite* ; 5 : 13 - 16.
23. **Beaucournu Jc, Degeilh B, Guiguen C (2005)** : Les puces parasites d'oiseaux : diversité taxonomique et dispersion biogéographique (Insecta : Siphonaptera). *Parasite* 2005 ; 12 : 111-21.
24. **Benyacoub S (1993)** : Ecologie de l'avifaune forestière nicheuse de la région d'El-Kala (Nord-Est algérien). *Thèse Univ. De Bourgogne. Dijon*. 287 pp.
25. **Bergstrom C.T. & Feldgarden M. (2008)** : The ecology and evolution of antibiotic-resistant bacteria. In: *Evolution in health and disease*. 2nd edition, (Stearns S.C. & Koella J.C., eds.). pp. 125-138. Oxford University Press, New York.
26. **BEUGNET, F (2002)** : Biologie-écologie et rôle vecteur des puces. In: BEUGNET,F. Guide des principales maladies vectorielles des carnivores domestiques. France, THERA Mc CANN. 11-18.
27. **Bilong-Bilong C.F. & Njiné T., (1998)** : Dynamique de populations de trois monogènes parasites d'*Hemichromis fasciatus* (Peters) dans le lac municipal de Yaoundé et intérêt possible en pisciculture intensive. *Sci. Nat.et Vie* 34: 295-303.
28. **Bitam I, Parola p, Baziz B Et Coll (2006)** : First molecular detection of *Rickettsia felis* in fleas from Algeria. *Am J Trop Med Hyg* 2006 ; 3-14.
29. **Bown Kj, Bennet M, Begon M (2004)** : Flea-borne *Bartonella grahamii* and *Bartonella taylorii* in bank voles. *Emerg Infect Dis* 2004 ; 10 : 684 - 7.
30. **Bradley, C. A & S. Altizer (2006)** : Urbanization and the ecology of wildlife diseases. *trends in Ecology and Evolution* 22:95-102.
31. **Brossolet J, Mollaret H (1994)** : Pourquoi la peste ? Le rat, la puce et le bubon. Coll. Découvertes n° 229. Gallimard Ed, Paris, 1994.
32. **Brouqui P, Bacellar F, Baranton G, Birtles RJ, Bjoersdorff A, Blanco JR, Caruso G, Cinco M, Fournier PE, Francavilla E, Jensenius M, Kazar J, Laferl H, Lakos A, Lotric Furlan S, Maurin M, Oteo JA, Parola P, Perez-Eid C, Peter O, Postic D, Raoult D, Tellez A, Tselentis Y, Wilske B; ESCMID (2004)** : Study Group on *Coxiella*, *Anaplasma*, *Rickettsia* and *Bartonella* ; European Network for Surveillance of Tick-Borne Diseases. Guidelines for the diagnosis of tick borne bacterial diseases in Europe. *Clin Microbiol Infect* ; 10(12):1108 -1132.
33. **Bussieras, J., Chermette, R (1991)** : Abrégé de parasitologie vétérinaire. Alfort: Service

- de Parasitologie ENVA, 1991. (Entomologie vétérinaire, fasc 4).
34. **Cadiergues M.C. (2000)** : *Ctenocephalides canis* (Curtis 1826), (SIPHONAPTERA : PULICIDAE) : donnée épidémiologiques et biologiques. Th D : Toulouse, I.N.P : 1749. 198.
 35. **Cadiergues, M.C., Hourcq, P., Cantaloube, B., Franc, M (2000)** : First bloodmeal of *Ctenocephalides felis felis* (Siphonaptera: Pulicidae) on Cats : Time to initiation and duration of feeding. *J. Med. Entomol*, 2000, 37. 4, 634-636.
 36. **Carniel E (1995)** : Situation mondiale des infections à *Y. pestis*. *Med Mal Inf* 1995; 25 Special: 675-9.
 37. **Chomel Bb, Kasten Rw, Floy D, Hawkins K & Coll (1996)** : Experimental transmission of *Bartonella henselae* by the cat flea. *J Clin Microbiol* 1996; 34:1952-6.
 38. **Choquart P. (1999)** : Contribution à l'étude des puces de chien : Enquête épidémiologique en France. *Th : Med. Vet* : Toulouse, université Paul Sabatier ; 4005. 53.
 39. **Ciesielski C., Marianos D., Ou C.Y., Dumbaugh R., Witte J., Berkelman R., Gooch B., Myers G., Luo C.C., Schochetman G., Howell J., Lasch A., Bell K., Economou N., Scott B., Furman L., Curran J. & Jaffe H. (1992)** : Transmission of Human Immunodeficiency Virus in a dental practice. *Annals of Internal Medicine* 116: 798-805.
 40. **Collinge S.K., Ray C. & Cully J.F. (2008)** : Effects of disease on keystone species, dominant species and their communities. In: Infectious disease ecology: the effects of ecosystems on disease and of disease on ecosystems, (Ostfeld R.S., Keesing F. & Eviner V.T., eds.). pp. 129-144. *Princeton University Press*, Princeton and Oxford.
 41. **Combes C (1995)** : Interactions durables. Ecologie et évolution du parasitisme. Paris: Masson. 233-238
 42. **Cuisance D et Rioux J. A (2004)** : Current status of medical and veterinary entomology in France. Endangered discipline or promising Science? *Comp Immunol Microb Infect Diseases* : 27 : 377-392.
 43. **Daly Js, Worthington Mg, Brenner Dj Et Coll (1993)** : *Rochalimaea elizabethae* sp. nov. Isolated from a patient with endocarditis. *J Clin Microbiol* 1993 ; 31: 872-81.
 44. **Daszak, P., A. Cunningham & A. D. Hyatt. (2000)** : Emerging Inf Wildlife-- Threats to Biodiversity and Human Health. *Science* 287:443-449.
 45. **De Belair G (1990)** : Structure, fonctionnement et perspective de gestion de l'éco-complexe lacustres et marécageux (El-Kala, Est algérien). Thèse Univ. Montpellier II. Tomes tableaux et figures, tome textes. 193 pp.
 46. **De La rocque I, Hall RI, Grahn E (2001)** : Chironomids as indicators of climate change: a 100 lake training set from a subarctic region of northern Sweden (Lapland). *J Paleolimnol* 26:307-322.
 47. **Desdevises Y, Morand S and Legendre P (2002)** : Evolution and determinants of host specificity in the genus *Lamellodiscus* (Monogenea). *Zoological Journal of the Linnean Society* 77(4) : 431-443.
 48. **Devignat R (1951)** : Variétés de l'espèce *Pasteurella pestis* : nouvelle hypothèse. *Bull OMS* 1951; 4: 247-63.
 49. **Dolan Mj, Wong Mt, Regnery RI & Coll (1993)** : Syndrome of *Rochalimaea henselae*

- adenitis suggesting cat scratch disease. *Ann Intern Med* 1993; 118: 331-6.
50. **Dryden M.W (1988)** : Evaluation of certain parameters in the bionomics of *Ctenocephalides felis felis* (Bouche 183). Masters thesis : Purdue University ; 115
 51. **Dryden M.W (1989)** : Host association, on host longevity and egg production of *Ctenocephalides felis felis*. *Vet. Parasitol.*, 1989, 34. 117-122.
 52. **Dryden M.W (1990)** : Blood consumption and feeding behavior of the cat flea, *Ctenocephalides felis felis* (Bouche 1835) Ph. D. Dissertation: Purdue University, 1990, 128.
 53. **Dryden Mw, Gaafar Sm (1991)** : Blood consumption by the cat flea, *Ctenocephalides felis* (Siphonaptera: Pulicidae). *J Med Entomol* ; 28: 394 - 400.
 54. **Dryden M.W, Rust, M.K (1994)** : The cat flea : biology, ecology, and control.- *Vet Parasitol.*; **52**, 1 - 19.
 55. **Dryden M.V, Smith (1994)** : Cat flea cocoon formation and development of naked flea pupae. *J. Med. Entomol.* **31**, 2, 272-277.
 56. **Duchemin J. B., Fournier P.E. et Parola P. (2006)** : Les puces et les maladies transmises à l'homme. *Med. Trop.* 66: 21-29 pp.
 57. **Duplantier J-M, Duchemin J-B, Chanteau S, Carniel E (2005)** : From the recent lessons of the Malagasy foci towards a global understanding of the factors involved in plague reemergence. *Vet Res* 2005; 36:437-53.
 58. **Durden L.A., R.N. Polur, T. Nims, C.W. Banks, and J. H. Oliver (2004)** : Ectoparasites and other epifaunistic arthropods of sympatric cotton mice and golden mice: comparisons and implications for vector-borne zoonotic diseases. *The Journal of parasitology* 90 :1293–1297.
 59. **Dyrssen D (1972)** : The changing chemistry of the oceans. *Ambio* 1:21-25.
 60. **Euzet L (1989)** : Ecologie et parasitologie. *Bulletin Ecologique* 20:277-280.
 61. **Eymann, J., C. A. Herbert, D. W. Cooper, and J. P. Dubey. (2006)** : Serologic survey for *Toxoplasma gondii* and *Neospora caninum* in the common brushtail possum (*Trichosurus vulpecula*) from urban Sydney, Australia. *Journal of Parasitology* 92:267-272.
 62. **Feldmeier H, Eisele M, Saboia Moura Rc, Heukelbach J (2003)** : Severe tungiasis in under privileged communities : case series from Brazil. *Emerg Infect Dis* 2003 ; 9 : 949-55
 63. **Finkelstein JI, Brown T P, O'reilly KI Et Coll** - Studies on the growth of *Bartonella henselae* in the cat flea (Siphonaptera : Pulicidae). *J Med Entomol* 2002; 39: 915-9.
 64. **Franc, M. (1994)** : Puces et méthodes de lutte, *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, **13**(4), 1019-1037.
 65. **Franc, M. (1998)** : *Ctenocephalides felis* : données épidémiologiques et biologiques. Méthodes d'évaluation des moyens de lutte. Th. D.: Parasitologie : Toulouse, Université Paul Sabatier: 1998 ; 2974. 290.
 66. **Franc, M., Cadiergues, M.C (1997)** : Mode of contamination of dogs by adult fleas (*Ctenocephalides felis*) in différent controlled environments. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 1997, **148**, I, 23-26.
 67. **Franc M., Choquart P & Cadiergues M.C. (1998)** : Répartition des espèces de Puces

- rencontrées chez le chien en France. *Revue de Médecine vétérinaire*, 149, 2, 135-140.
68. **Frank S.A. (2002)** : Immunology and evolution of infectious disease. Princeton University Press, Princeton and Oxford.
 69. **Gage Kl, Kosoy My (2005)** : Natural history of plague : perspectives from more than a century of research. *Ann Rev Entomol* 2005 ; 50 : 505-28.
 70. **Galvani A.P. (2003)** : Epidemiology meets evolutionary ecology. *Trends in Ecology & Evolution* 18: 132-139.
 71. **Gan N.V, Voronova G.A, Yuzvik L.N, Belyaeva V.A (1990)**: The capability of *Rhadinopsylla roths childi* and *R. dahurica* fleas as vectors of plague pathogen in Transbaikal natural focus. *Parazitologiya* 1990; 24 :151-4. En russe.
 72. **Gandon S., Mackinnon M.J., Nee S. & Read A.F. (2001)** : Imperfect vaccines and the evolution of pathogen virulence. *Nature* 414: 751-756.
 73. **Gardner, S. L., and M. L. Campbell (1992)** : Parasites as probes for biodiversity. *The Journal of Parasitology* 78:596–600.
 74. **Georgi, J.R. (1985)** : Parasitology for veterinarians. 4th Edition. Philadelphia: W.B. Saunders Co.
 75. **Gikas A, Doukakis S, PEDIADITIS J Et Coll (2002)**: Murine typhus in Greece: epidemiological, clinical, and therapeutic data from 83 cases. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2002; 96 : 250-3.
 76. **Gini, C. (1912)** : Variabilitè mutabilitè. Studi economicoaguridici delle facoltta digiurizprudenza dell, Universite di Cagliari III, Parte II.
 77. **Gisin (1949)** : Catalogue of Life as Ceratophysella engadinensis [Ceratophysella], Taxonomic Serial No.: 724013.
 78. **Glaser Barney G (2001)** : *The Grounded Theory Perspective: Conceptualization Contrasted with Description*. Mill Valley, Ca.: *Sociology Press*.
 79. **Goyle. A. N. (1928)** : Comparative experiments on the transmission of plague by fleas of the genus *Xenopsylla (cheopis andastia)* with a discussion on the flea species distribution in its relation to the incidence of plague. *Indian J Med Res* ; 15: 837–60.
 80. **Grasse, P.P (1951)** : *Traité de zoologie- Anatomie, systématique, biologie - Insectes supérieurs et hémiptéroïdes*. Paris: 1951. Tome X. 1er fascicule. 745-749.
 81. **Gubler, D. J. (2002)** : The global emergence/resurgence of arboviral diseases as public health problems. *Arch. Med. Res.* 33, 330-342.
 82. **Gurfield A.N, Bonlouis H.J, Chomel B.B Et Coll (2001)** : Epidemiology of *Bartonella* infection in domestic cats in France. *Vet Microbiol* ; 80:185-98.
 83. **Guzman R.F (1984)** : A survey of cats and dogs for fleas with particular reference to the role as intermediate hosts of *Dipylidium caninum*. *New Zealand Veterinary journal*, 32, 71-73
 84. **Haas G.E (1965)** : Temperature and humidity in the micro habitat of rodent fleas in Hawaiian cane fields. *J Med Entomol* 1965; 2: 313-6.
 85. **Hainard R (1948)** : *Les Mammifères sauvages d'Europe*. I. Delachaux et Niestlé. Neuchâtel. : 80-88.
 86. **Harman D.W., Haliwell R.E & Greiner E.C. (1987)**. Flea species from dogs and cats in north-Florida. *Vet parasitol.*, 23, 1-2, 135-140.

87. **Heeney J.L., Dagleish A.G. & Weiss R.A. (2006).** Origins of HIV and the evolution of resistance to AIDS. *Science* 313: 462-466.
88. **Heim de Balsac H. et Bourliere F (1955)** : [Ordre des Insectivores] Systématique, in Grassé (P.P.), *Traité de zoologie*. Masson, Paris XVII (II) : 1667-1674.
89. **Hopkins G.H.E. & Rothschild D.M (1953)** : An illustrated catalogue of the Rothschild collection of fleas (*Siphonaptera*) in the British Museum (Natural History), London. With keys and short descriptions for the identification of families, genera, species and subspecies of the order. Vol. I : *Tungidae* and *Pulicidae*. Londres, 360 pp.
90. **Hopkins G.H.E. & Rothschild D.M (1956)** : An illustrated catalogue of the Rothschild collection of fleas (*Siphonaptera*) in the British Museum (Natural History), London. With keys and short descriptions for the identification of families, genera, species and subspecies of the order. Vol .II: *Cotopsyllidae*, *Vermipsyllidae*, *Stephanocircidae*, *Macropsyllidae*, *Ischnopsyllidae*, *Chimaeropsyllidae* and *Xiphiopsyllidae*. Londres, 445 pp.
91. **Hopkins G.H.E. & Rothschild D.M (1962)** : An illustrated catalogue of the Rothschild collection of fleas (*Siphonaptera*) in the British Museum (Natural History), London. With keys and short descriptions for the identification of families, genera, species and subspecies of the order. Vol. III: *Hystricopsyllidae*, 1 ère partie. Londres, 560 pp.
92. **Hopkins G.H.E. & Rothschild D.M (1966)** : An illustrated catalogue of the Rothschild collection of fleas (*Siphonaptera*) in the British Museum (Natural History), London. With keys and short descriptions for the identification of families, genera, species and subspecies of the order. Vol. IV: *Hystricopsyllidae*, 2 ème partie. Londres, 549 pp.
93. **Hopkins G.H.E. & Rothschild D.M (1971)** : An illustrated catalogue of the Rothschild collection of fleas (*Siphonaptera*) in the British Museum (Natural History), London. With keys and short descriptions for the identification of families, genera, species and subspecies of the order. Vol. V: *Leptopsyllidae* and *Ancistropsyllidae*. Londres, 530 pp.
94. **Houhamdi L, Parola P, Raoult D (2005)** : Les poux et les maladies transmises à l'homme. *Med Trop* ; 65:13-23.
95. **Houpikian, P., Raoult, D. (2001)** : 16S/23S RNA intergenic spacer regions for phylogenetic analysis, identification, and subtyping of *Bartonella* sp. 39(8):2768-78.
96. **HSU MH, HSUY C, WU WJ (2002)** : Consumption of flea faeces and eggs by larvae of the cat flea, *Ctenocephalides felis felis*. *Med V et Entomol* ; 16: 445-7.
97. **Hubalek Z (2000)** : Measures of species diversity in ecology: an evaluation. *Folia Zool.* 49: 241-260.
98. **Hudson B.W & Prince F.M (1958)** : A method for large scale rearing of the cat flea. *Ctenocephalides felis felis* (Bouche). *Bull. WHO.* **19.** 1126-1129.
99. **Jackson, R. B., S. R. Carpenter, C. N. Dahm, D. M. Mc Knight, R. J. Naiman, S. L. Postel, and S. W. Running (2001)** : Water in a changing world. *Ecological Applications* 11:1027–1045.
100. **Jacomo V, Kelly P.J, Raoult D (2002)** : Natural history of Bartonellain fections (an exception to Koch's postulate). *Clin Diagn Lab Immunol*; 9: 8-18.
101. **Jagannath, M.S., Hegde, K.S., Mutthanna, P.G., Rahman, S.A., Rajasekariah, G.R (1972)** : A rare outbreak of *Ctenocephalides felis orientis* Jordan (1925) in

- poultry and its successful control with sumithion. *In veterinary entomology*, 6(4). 275-280.
102. **Jellison W.L (1959)** : Fleas and Diseases. *Ann Rev Entomol*; 4: 389 - 414.
 103. **Jensen, W. A., M. Z. Fall, J. Rooney, D. L. Kordick, and E. B. Breitschwerdt (2000)** : Rapid identification and differentiation of Bartonella species using a single-step PCR assay. *J. Clin. Microbiol.* 38:1717–1722.
 104. **John L. Harper and David L. Hawksworth (1995)** : Preface. *In* David L. Hawksworth, editor, Biodiversity measurement and estimation, pages 5(12). Chapman & Hall, London.
 105. **Jones K. E, N.G Patel, M.A Levy, A Storeygard, D Balk, J.L Gittleman, and P. Daszak (2008)** : Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451:990-994.
 106. **Kartman L, Martina R, Hubbert W.T Et Coll (1967)** : Epidemiologic features and results of field studies. *Public Health Rep*; 82 :1084-94.
 107. **Kartman L, Prince F.M, Quan S.F, Stark H.E (1958)** : New know ledge on the ecology of sylvatic plague. *Ann NY Acad Sci*; 70 : 668-711.
 108. **Kelly P, Rolain J.M, Raoult D (2005)** : Prevalence of human pathogens in cat and dog fleas in New Zealand. 2005 Nov 25; *N Z Med J* ; **118**: 1754.
 109. **Kelly P.J, Meads N, Theobald A Et Coll (2004)** : *Rickettsia felis*, *Bartonella henselae* and *Bartonella clarridgeiae* in fleas (*Ctenocephalides felis felis*) from New Zealand. *Emerg Infect Dis*; 10 : 967-8.
 110. **Kerkhoff F.T, Bergmans A.M, Van Derzee A, Rothova A (1999)** : Demonstration of Bartonella grahamii DNA in ocular fluids of a patient with neuro retinitis. *J Clin Microbiol* ; 37:4034-8.
 111. **Kettle D.S. (1984)** : *Medical and Veterinary Entomology*. Wallingford: CAB international, 658 p.
 112. **Koehler Je, Glaser Ca, Tappero Jw (1994)** : *Rochalimaea henselae* infection : a new zoonosis with the domestic cat as a reservoir. *JAMA*; 271:531-5.
 113. **Krasnov B.R, Khokhlova I.S, Fielden L.J, Burdelova N.V (2001)** : Effect of air temperature and humidity on the survival of preimaginal stages of two flea species (*Siphonaptera: Pulicidae*). *J Med Entomol* ; 38: 629-37.
 114. **Kuris A.M and Lafferty K.D (2000)** : Parasite-host modelling meets reality: adaptive peaks and their ecological attributes. *In: Evolutionary Biology of Host-Parasite Relationships : Theory Meets Reality*, Ed. Poulin R., Morand S. and Skorping A. Elsevier Science B.V. pp. 9-26.
 115. **Kwochka K.W. (1987)** : Fleas and related disease, *Veterinary clinics of north America, small animal practice*, 17, 6, 1235-1262.
 116. **L'Hostis M, Dumon H, Dorchie B, Boisdron F, Gorenflot A (1995)** : Seasonal incidence and ecology of ticks *Ixodes ricinus* (*Acari : Ixodidae*) on grazing pastures in western France.
 117. **Lascola B, Davoust B, Boni M, Raoult D (2002)** : Lack of correlation between *Bartonella* DNA detection within fleas, serological results, and results of blood culture in a *Bartonella*- infected stray cat population. *Clin Microbiol Infect*; 8: 345-51.
 118. **Lafferty K.D. & Gerber L.R. (2002)** : Good medicine for conservation biology: The

- intersection of epidemiology and conservation theory. *Conservation Biology* 16: 593-604.
119. **Lambin E.F, B.L Turner, H.J Geist, and S.B Agbola (2001)** : The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change* 11:261–269.
120. **Lappin M.R, Griffin B, Brunt J et Coll (2005)** : Prevalence of Bartonella species, Haemoplasma species, Ehrlichia species, Anaplasma phagocytophilum, and Neorickettsia risticii DNA in the blood of cats and their fleas in the United States. *J Feline Med Surg; E pub; ahead of print*.
121. **Lebarbenchon C., Poulin R. & Thomas F. (2007)** : Parasitisme, biodiversité et biologie de la conservation. In: *Ecologie et évolution des systèmes parasités*, (Thomas F., Guégan J.F. & Renaud F., eds.). 187 pp. De Boeck, Bruxelles.
122. **Letaief A.O, Kaabia N, Chakroun M et Coll (2006)** : Clinical and laboratory features of murine typhus in central Tunisia: a report of seven cases. *Int Infect Dis* 2006.
123. **Levin B.R, Lipsitch M & Bonhoeffer S (1999)** : Population biology, evolution, and infectious disease: convergence and synthesis. *Science* 283: 806-809.
124. **Lewis RE (1998)** : Resume of the Siphonaptera (Insecta) of the world. *J Med Entomol*; 35: 377–89.
125. **Liebisch A, Brandes R, Hoppenstedt K (1985)** : Tick and flea infections of dogs and cats in the German Federal Republic. *Praktische Tierarzt*, 1985, **66**, 10, 817-824.
126. **Lilley B, Lammie P, Dickerson J. & Eberhard M. (1997)** : An increase in hookworm infection temporally associated with ecologic change. *Emerging Infectious Diseases* 3: 391-393.
127. **Lohmann M (2004)** : Le hérisson, 2è édition, Losange, Chamalières, France, Artémis éditions, p 15.
128. **Louise Trudel M.Sc (2003)** : Rapport de surveillance des tiques, Parasitologie Laboratoire de santé publique du Québec Institut national de santé publique du Québec. 21 p.
129. **Lul, Wu H (2005)** : A cladistic and biogeographic analysis of Chinese *Neopsylla wagner* (Siphonaptera: Ctenophthalmidae). *Invertebrate Systematics* ; 17: 607-615.
130. **Lundqvist L & G Brinck-Lindroth (1990)** : Patterns of coexistence : ectoparasites on small mammals in northern Fennoscandia. *Holarctic Ecology* 13:39–49.
131. **Madoui B.E.M, Bouattour A, Bouslama Z (2014)** : Inventaire des différentes Espèces de Puces du Chat Présentes dans le Nord-est D’Algérie (Région D’Annaba. *European Journal of Scientific Research* ; **118-2**, 163-171.
132. **Madoui B.E.M, Sakraoui F, Houhamdi M, Bouslama Z (2014)** : « Caractérisation et dynamique des peuplements de puces de la faune sauvage et domestique : impact sur la santé. *Faunistic Entomology* 2014 ; **67**, 3-13
133. **Margalit J, Shulov A.S (1972)** : Effect of temperature on the development of prepupa and pupa of the rat flea, *Xenopsylla cheopis* Rothschild. *J Med Entomol* ; 9: 117-25.
134. **Margolis L, Esch G.W, Holmes J.C, Kuris A & Shad G.A (1982)** : The use of ecological terms in parasitology (report of an adhoc committee of the American Society of Parasitologists). *Journal of Parasitology* **68**: 131–133.

135. **Marié J.L, Fournier P.E, Rolain J.M et Coll (2006)** : Molecular detection of *Bartonella quintana*, *B. elizabethae*, *B. koehlerae*, *B. doshiae*, *B. taylorii* , and *Rickettsia felis* in rodent fleas collected in Kabul, Afghanistan. *Am J Trop Med Hyg*.
136. **Marre A (1987)** : Le mouvement de terrain de Champillon. Bulletin de la société d'études de Sciences Naturelles de Reims, 1, 31–36.
137. **Metzger M.E, Rust M.K (1997)** : Effect of temperature on cat flea (Siphonaptera : Pulicidae) development and over wintering. *J Med Entomol* ; 34:173 - 8.
138. **Minchin E.A (1915)** : Some details in the anatomy of the rat-flea, *Ceratophyllus fasciatus* Bosc. *J tt microsc*. Cl. London: 441-464.
139. **Minnick M.F., Barbian K.D (1997)** : Identification of *Bartonella* using PCR ; genus and species-specific primer sets. *J Microbiol Meth*. 31, 51–57.
140. **Mollaret H (1963)** : Conservation de la peste dans le sol. *Bull Soc Pathol Exot* ; 56: 1168-82.
141. **Møller A. P (1990)** : Effects of a haematophagous mite on the barn swallow (*Hirundo rustica*): a test of the Hamilton Zuk hypothesis. *Evolution*, 44, 771–884.
142. **Morand S, Sorci G (1988)**. Determinants of Life-history Evolution in Nematodes. *Parasitology Today* 14(5):193-196.
143. **Morel A (1974)** : Optical properties of pure water and pure sea water, p, 1-24 in N. G Jerlov and E. Steeman Nielsen (eds), *Optical aspects of oceanography*. Academic.
144. **Nesse R.M. & Stearns S.C (2008)** : The great opportunity: Evolutionary applications to medicine and public health. *Evolutionary applications* 1: 28-48.
145. **Neveu-Lemair E.M (1938)** : *Traité d'entomologie médicale et vétérinaire*. Vigot Frères, Paris, 1339 pp.
146. **Nicoll W (1912)** : *Brit. med. J.* 2. 926 (Cité par Goyle, 1928)
147. **Normark B.H. & Normark S (2002)** : Evolution and spread of antibiotic resistance. *Journal of Internal Medicine* 252: 91-106.
148. **Ogata H, Ren Esto P, Audic S et Coll (2005)** : The genome sequence of *Rickettsia felis* identifies the first putative conjugative plasmid in an obligate intracellular parasite. *Plos Biol*; 3: e-248.
149. **Oliveira R.P, Galvao M.A, Mafra C.L et Coll (2002)**: *Rickettsia felis* in *Ctenocephalides spp.* fleas, Brazil. *Emerg Infect Dis* 2002; 8 : 317-9.
150. **OMS (2004)** : La peste humaine en 2002 et en 2003. *Relevé Epidémiologique Hebdomadaire*; 79: 301-6.
151. **Oppliger A, Richner H & Christe P (1994)** : Effect of an ectoparasite on lay date, nest-site choice, desertion, and hatching success in the great tit (*Parus major*). *Behav. Ecol.*, 5, 130–134.
152. **Page R.D.M, Hafner M.S (1996)** Molecular phylogenies and host–parasite cospeciation: gophers and lice as a model system. In: P.H. Harvey, A.J. Leigh-Brown, J. Maynard Smith and S. Nee, Editors, *New Uses for New Phylogenies*, Oxford University Press, Oxford (1996), pp. 255–270.
153. **Parkhill J, Wren B.W, Thomson N.R et Coll (2001)** : Genome sequence of *Yersinia pestis*, the causative agent of plague. *Nature*; 413: 523-7.

154. **Parola P, Miller R.S, Mc Daniel P et Coll (2003)** : Emerging rickettsioses of the Thai-Myanmar border. *Emerg Infect Dis*; 9: 592-5.
155. **Parola P, Sanogo Y.O, Lerdthusnee K et Coll (2003)** : Identification of *Rickettsia spp.* and *Bartonella spp.* in fleas from the Thai-Myanmar border. *Ann NY Acad Sci* ; 990:173-81.
156. **Parola P, Paddock C, Raoult D (2005)** : Tick-borne rickettsioses around the world : emerging diseases challenging old concepts. *Clin Microbiol Rev* ; 18: 719-56.
157. **Parola P (2004)** : Tick borne rickettsial diseases: emerging risks in Europe. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* ; 27(5):297-304.
158. **Patz, J.A, T.K. Graczyk, N. Geller and A.Y. Vittor (2000)** : Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal for Parasitology* 30:1395-1405.
159. **Patz J.A, P. Daszak, G.M Tabor, A.A Aguirre, M Pearl, J Epstein, N.D Wolfe, A.M Kilpatrick, J Foupoulos, D Molyneux, and D.J Bradley, Members of the Working Group on Land Use Change (2004)** : Unhealthy Landscapes: Policy Recommendations on Land Use Change and Infectious Disease Emergence. *Environmental Health Perspectives* 112:1092-1098.
160. **Pittaway A.R (Edit) (1991)** : Arthropods of medical and veterinary importance: a checklist of preferred names and allied terms. CAB International, Wallingford, Royaume Uni, 178 pp.
161. **Pollitzer R (1954)** : La peste, Genève, Organisation Mondiale de la Santé (Séries de Monographies n° 22).
162. **Price P.W (1980)** : Evolutionary biology of parasites. Princeton: Princeton University Press.
163. **Price R.D, Hellenthal R.A, Palma R.L (2003)** : World checklist of chewing lice with host associations and keys to families and genera. In: R.D. Price, R.A. Hellenthal, R.L. Palma, K.P. Johnson and D.H. Clayton, Editors, The Chewing Lice. World checklist and Biological Overview, Illinois Natural History Survey Special Publication 24:1-448.
164. **Püttker, T, Y. Meyer-Lucht, and S Sommer (2007)** : Effects of fragmentation on parasite burden (nematodes) of generalist and specialist small mammal species in secondary forest fragments of the coastal Atlantic Forest, *Brazil. Ecological Research* 23:207-215.
165. **Rajendran C.P (2008)** : The Anthropocene: A human-driven geological epoch on the anvil. *Current Science* 95:18.
166. **Raoult D, Roux V (1997)** : Rickettsioses as paradigms of new or emerging infectious diseases. *Clin Microbiol Rev* ; 10: 694 -719.
167. **Rees W, and M Wackernagel (1996)** : Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable - and why they are a key to sustainability. *Environ Impac Assess Rev* 16:223-248.
168. **Regnery R.L, Martin M, Olson J.G (1992)** : Naturally occurring *Rochalimaea henselae* infection in domestic cat. *Lancet* ; 340: 557-8.
169. **Reiter P (2001)** : Climate change and mosquito-borne disease. *Environ. Health Persp.* 109, 141-161.

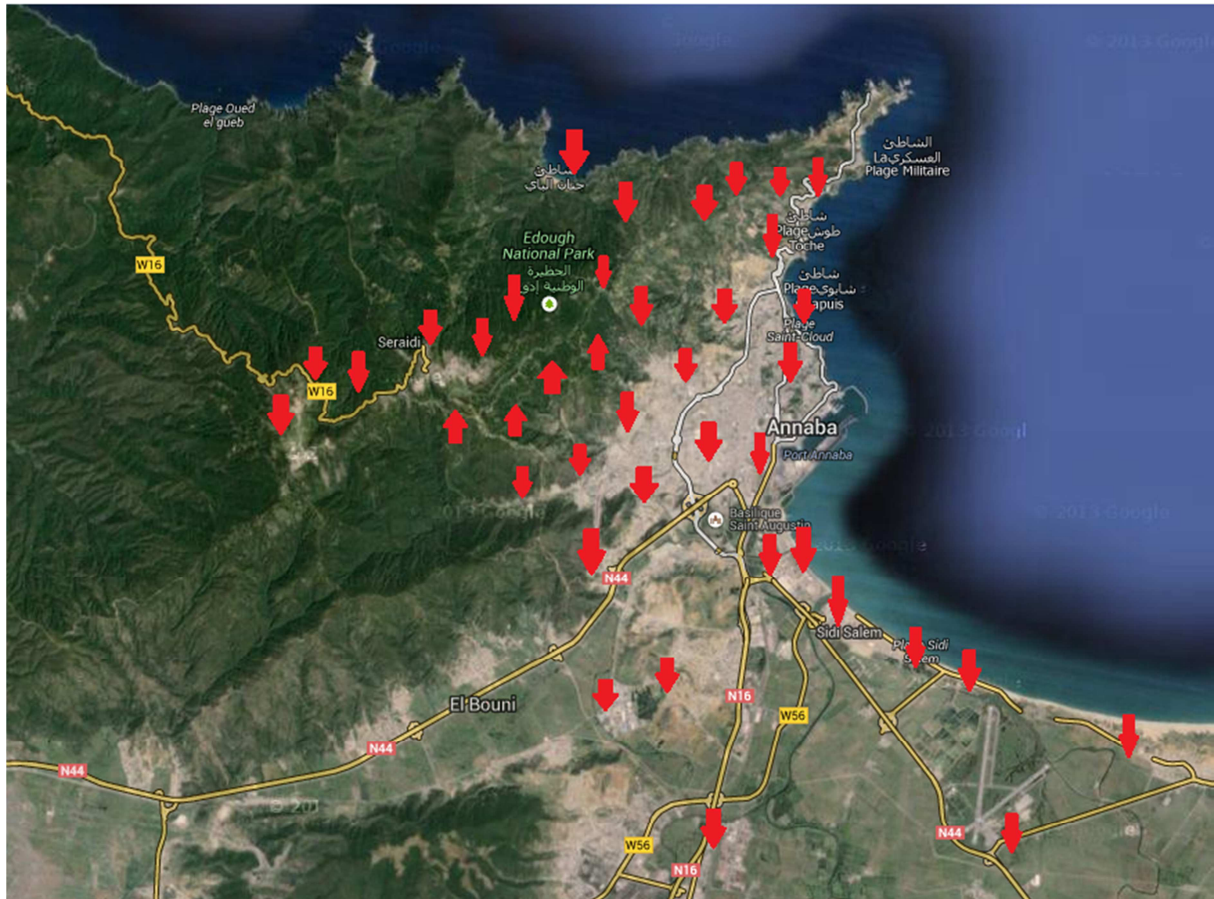
170. **Richner H, Oppliger A & Christe P (1993)** : Effect of an ectoparasite on reproduction in great tits. *J. Anim. Ecol.*, 62, 703–710.
171. **Rodhain F (2004)** : Respect for natural conditions in experimentation. Marcel Baltazard in the lineage of Charles Nicolle, *Bull Soc Pathol Exot.* 2004;97 Suppl:33-42. French.
172. **Rogers D.J, Randolph S.E (2000)** : The global spread of malaria in a future, warmer world. *Science* 289:1763–1766.
173. **Rolain J.M, Franc M, Davoust B, Raoult D (2003)** : Molecular detection of *Bartonella quintana*, *B. koehlerae*, *B. henselae*, *B. clarrid geiae*, *Rickettsia felis*, and *Wolbachia pipientis* in cat fleas, France. *Emerg Infect Dis*; 9 : 228-342.
174. **Rolain J.M, Bourryo, Davoust B, Raoult D (2005)** : *Bartonella quinatana* and *Rickettsia felis* in Gabon. *Emerg Infect Dis* ; 11 : 1742 - 4 .
175. **Rothschild M (1975)** : Recent advances in our know ledge of the order *Siphonaptera*. *Annu Rev Entomol* ; 20: 241 - 59.
176. **Rust M.K, Dryden M.W (1997)**. The biology, ecology and management of the cat flea. *Annual Review of Entomology*, 42, 451- 473.
177. **Sakaguchi S, Sato I, M Uguruma H et Coll (2004)** : Reemerging murine typhus, Japan. *Emerg Infect Dis*; 10: 964-5.
178. **Sala O.E (2000)** : Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100 ; *Science* 287:1770-1774.
179. **Savary de Beauregard B. (2003)** : Contribution à l'étude épidémiologique des maladies vectorielles bactériennes observées chez le chat dans le Sud de la France. *Th Doctorat* ; 31-33.
180. **Scheidt V.J (1988)** : Flea allergy dermatitis. *Veterinary clinics of north America, small animal practice*, 18, 1023-1042.
181. **Schrag S.J & Wiener P (1995)** : Emerging infectious disease: what are the relative roles of ecology and evolution ? *Trends in Ecology & Evolution* 10: 319-324.
182. **Schwamberger K (1972)** : *Bunte Welt der Tiere. Die einheimischen Säugetiere.* Kosmos. Franckh'sche Verlagshandlung. Stuttgart : 10-11.
183. **Séguy E (1944)** : Diptères nouveaux ou peu connus de la faune de France; Ch:7, 434 p.
184. **Seltzer P (1946)** : Le climat d'Algérie. *Trav. Ins. Met et Phy. Du Globe*, Univ d'Alger. 219 p.
185. **Shannon C.E (1948)** : A mathematical theory of communication. *Bell System technical journal*, 27 :379{423, 623{656.
186. **Shaw S.E, Kenny M.J, Tasker S, Birtles R.J (2004)** : Pathogen carriage by the cat flea *Ctenocephalides felis* in the United Kingdom. *Vet Microbiol*; 102:183-8.
187. **Shaw S, Kenny M (2002)** : Diagnostic des infections vectorielles par PCR In: BEUGNET. Guide des principales maladies véctorielles des carnivores domestiques. France, THERA Mc CANN. 207-211.
188. **Silva L.J & Papaïordanou P.M (2004)** : Murine (endemic) typhus in Brazil: case report and review. *Rev Inst Med Trop Sao Paulo*; 46: 283-5.
189. **Silverman J, Rust M.K (1985)** : Extended longevity of the pre-emerged adult cat flea (*Siphonaptera : Pulicidae*) and factors stimulating emergence from the pupal cocoon. *Ann Entomol Soc Am* ; 78: 763-8.
190. **Silverman J, Rust M.K (1983)** : Some abiotic factors affecting the survival of the cat

- flea. *Ctenocephalides felis* (Siphonaptera : Pulicidae). *Environ. Entomol.*, **12**, 490- 495.
191. **Silverman J, Rust M.K, Reiersen D.A (1981)** : Influence of temperature and humidity on survival and development of the cat flea, *Ctenocephalides felis* (Siphonaptera : Puliciadae). *J. Med Entomol.* **18**. 78-83.
 192. **Simpson E.H. (1949)** : Measurement of diversity. *Nature*, 163 : 688.
 193. **Smit F.G.A.M (1973)** : *Siphonaptera*. In *Insects and other arthropods of medical importance* (K.G.V. Smith, edit.). *British Museum*, Londres, 325-371.
 194. **Smit F.G.A.M (1982)** : *Siphonaptera*. In *Synopsis and classification of living organisms* (S.P. Parker, édit.), Vol. II. Mc Graw-Hill, New York, 557-563.
 195. **Snodgrass R.E (1945)** : The skeletal anatomy of fleas (*Siphonaptera*). Washington Smithsonian Institution, Vol 104, n°18.
 196. **Snowden J.S (2008)** : Frontotemporal dementia: correlations between pathology and function. Executive functions and the frontal lobes : a life span approach. New York. eScholar ID:3d1068.
 197. **Spellberg B, Guidos R, Gilbert D, Bradley J, Boucher H.W, Scheld W.M, Bartlett J.G & Edwards J (2008)** : The epidemic of antibiotic-resistant infections: A call to action for the medical community from the Infectious Diseases Society of America. *Clinical Infectious Diseases* 46: 155-164.
 198. **Stark H.E (2002)** : Population dynamics of adult fleas (*Siphonaptera*) on hosts and in nests of the California vole. *J Med Entomol*; 39 : 818-24.
 199. **Stearns S.C & Koella J.C (2008)** : Evolution in health and disease. 2nd edition. Oxford University Press, New York.
 200. **Stevenson H.L, Labruna M.B, Montenieri J.A et Coll (2005)** : Detection of *Rickettsia felis* in a New World flea species, *Anomiopsyllus nudata* (Siphonaptera : Ctenophthalmidae). *J Med Entomol* ; 42:163-7.
 201. **Stocker L (2005)** : Practical wildlife care. 2nd ed. Oxford ; Blackwell publishing, 335p.
 202. **Taylor L.H, S.M. Latham, and M.E.J Woolhouse (2001)** : Risk factors for human disease emergence. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 356: 983-989.
 203. **THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY (TEEB) (2010)** : Interim Report 2010. le 12/10/2012. <http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/>
 204. **Thomas J.P (1975)** : Ecologie et Dynamisme de la Vegetation des Dunes Littorales et des Terrasses Sableuses Quaternaires de Jijel a El Kala (Est Algerien). INA Internal Report, El Harrach, Algiers, Algeria: 113 pp., mimeogr, illustr.
 205. **Thomas R.E, Karstens R.H, Schwan T.G (1990)** : Experimental infection of *Ornithodoros* spp. ticks (*Acari* : *Argasidae*) with *Yersinia pestis*. *J Med Entomol*; 27: 720-3.
 206. **Tillyard R.J (1926)** : The insects of Australia and New Zealand. 1926: 560 pp.
 207. **Tompkins D.M, White A.R. & Boots M (2003)** : Ecological replacement of native red squirrels by invasive greys driven by disease. *Ecology Letters* 6 : 189-196.
 208. **Toubal B.O (1986)** : Phytoécologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Edough (Algérie Nord orientale). Cartographie au 1/25000 USTM. Univ.Grenoble. Thèse. Doct. S8 16 cycle, 111p.
 209. **Valtonen E.T, Holmes J.C & Koskivaara M, (1997)** : Eutrophication, pollution and

- fragmentation: effects on parasite communities in roach (*Rutilus rutilus*) and perch (*Perca fluviatilis*) in four lakes in the Central Finland. *Can. J. Aquat.Sci.* 54: 572-585.
210. **Van Riper C, Van Riper S.G & Hansen W.R (2002)** : Epizootiology and effect of avian pox on Hawaiian forest birds. *Auk* 119: 929-942.
 211. **Vaz, V, P D'Andrea, and A Jansen (2007)** : Effects of habitat fragmentation on wild mammal infection by *Trypanosoma cruzi*. *Parasitology* 134:1785-1793.
 212. **Villeneuve A, Marcotte M (1988)** : Approche épidémiologique et médicale du contrôle des puces : Biologie et Méthode de Diagnostic. *Méd Vet. Quebec*, **18**, 4,187-190.
 213. **Vitousek P.M, Mooney H.A, Lubchenco J, Melillo J.M (1997)** : Human domination of Earth's ecosystems. *Science* 277:494–499.
 214. **Wall R, Shaw S.E, Pealiggon J (1997)** : The prevalence of flea species on cats and dogs in Ireland. *Medical and Veerinary Entomology*, **11**, 404-406.
 215. **Watt G, Parola P (2003)** : Scrub typhus and tropical rickettsioses. *Curr Opin Infect Dis*; 16 : 429-36.
 216. **Whiting M.F (2002)** : Mecoptera is paraphyletic: multiple genes and phylogeny of Mecoptera and *Siphonaptera*. *Zoologica Scripta* ; 31: 93 - 104.
 217. **Woolhouse M.E.J & Gowtage-Sequeria S (2005)** : Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerging Infectious Diseases* 11: 1842-1847.
 218. **Woolhouse M.E.J (2002)** : Population biology of emerging and re-emerging pathogens. *Trends in Microbiology* 10: S3-S7.
 219. **World Health Organisation (2004)** : Annex Table 2: deaths by cause, sex and mortality stratum in WHO regions, estimates for 2002. *in The World Health Report 2004, Changing history*. World Health organisation, Geneva, Switzerland.
 220. **World Health Organisation (2003)** : Plague in Algeria – update 2. *Wkly Epidemiol Rec* ;78:253 60.
 221. **Yao1 K.P, Ngoran1 K.E et Franc M (2006)** : Étude de quelques paramètres écologiques de *Ctenocephalides felis strongylus* (Jordan, 1925) (*Siphonaptera* : *Pulicidae*). *Parasite*, 13, 159–164.
-

ANNEXE

Annexe 1 : Carte géographique de Annaba. Les sites de récolte des puces sont montrés par les flèches en rouge.



Annexe 2 : Figures des différentes espèces de puces trouvées dans notre étude.



Figure 55 : *Ctenocephalides felis* femelle.
Prise le 20/10/2011 par Madoui B.E



Figure 56 : *Ctenocephalides canis* femelle.
Prise le 12/11/2012 par Madoui B.E



Figure 57 : *Ctenocephalides canis* male
Prise le 17/02/2012 par Madoui B.E



Figure 58: *Archaeopsylla erinacei* femelle.
Prise le 12/11/2012 par Madoui B.E



Figure 59 : *Xenopsylla cheopis* male
Prise le 17/02/2012 par Madoui B.E



Figure 60: *Xenopsylla cheopis* male.
Prise le 20/10/2011 par Madoui B.E



Figure 61: *Pulex irritans* femelle
Prise le 17/02/2012 par Madoui B.E



Figure 62: *Pulex irritans* femelle
Prise le 17/02/2012 par Madoui B.E

Annexe 3 : Tableau montrant la dynamique d'apparition des différentes espèces de puces durant la période Janvier – Décembre 2010.

Espèce Mois Puce / animal		Mois											
		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<i>Ctenocephalides felis</i>	Chien	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Chat	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Rat	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+
	Hérisson	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-
<i>Ctenocephalides canis</i>	Chien	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
	Chat	-	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-
	Rat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hérisson	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
<i>Xenopsylla cheopis</i>	Chien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chat	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-
	Rat	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Hérisson	-	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-
<i>Archaeopsylla erinacei</i>	Chien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hérisson	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Pulex erritans	Chien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chat	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-
	Rat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hérisson	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Annexe 4 : Tableau montrant la dynamique d'apparition des différentes espèces de puces durant la période Janvier – Décembre 2011.

Espèce Mois Puce / animal		Mois											
		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
<i>Ctenocephalides felis</i>	Chien	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
	Chat	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Rat	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-
	Hérisson	-	-	-	-	+	+	-	+	-	+	-	-
<i>Ctenocephalides canis</i>	Chien	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+
	Chat	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
	Rat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hérisson	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-
<i>Xenopsylla cheopis</i>	Chien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chat	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rat	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Hérisson	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
<i>Archaeopsylla erinacei</i>	Chien	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
	Chat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hérisson	-	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-
Pulex erritans	Chien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Chat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Rat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hérisson	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Annexe 5 : Glossaire des termes utilisés en Taxonomie et morphologie.

D'après Beaucournu & Launay (1990).

- Acétabulaire (soie -) : grande soie porté au voisinage de l'acetabulum, zone de jonction entre le basimère et le télomère.
- Aedéage = Aedoeagus : partie externe du phallosome.

- Anal (stylet -): appendice unisegmenté de la valve dorsale du segment X chez les femelles
- Antésensiliales (Soies -) = soies antépygidiales : soies de grande taille insérées près de la marge postéro-dorsale du tergite VII et surplombant le sensilium (tergite IX).
- Area cribriformis : zone d'abouchement du ductus bursae (cf.) dans la spermathèque, généralement en légère saillie.
- Basimère: partie postérieure du tergite IX chez le mâle, c'est la partie fixe de la pince copulatrice.
- Bulga : partie la plus arrondie de la spermathèque. Les parois internes sont parcourues de nervures plus ou moins réticulées : les strigillae.
- Clasper : correspond au tergite IX chez le male, formé du basimère (cf.) et du télomère (cf.). Il est préférable d'employer ces derniers termes plutôt que "clasper".
- Coxa: article basal de la patte
- Cténidie (= peigne) : rangée d'épines jointives évoquant un peigne, ces épines n'étant pas des soies épaissies ou spiniformes. On parle dans ces dernier cas de fausse cténidie ou faux peigne (par exemple : faux peigne tibial).
- Ductus bursae : conduit allant du vagin au départ du ductus spermathecae, souvent beaucoup plus visible que ce dernier. Il est terminé par la perula, expansion plus ou moins différenciée de forme ovoïde ou arrondie vers l'arrière.
- Endotendons: conduits amenant le sperme du testicule à la spermathèque après cathétérisme du ductus bursae et du ductus spermathecae.
- Falx (= suture interantennaire). Sclérification due à la jonction dorsale des deux gouttières antennaires, scindée par un sillon (caput fracticipit). On parle de caput integricipit lorsque ce sillon n'existe pas.
- Femur: 3ème article de la patte
- Fracticipit: cf falx
- Front : partie antérieure de la capsule céphalique s'étendant de l'angle oral à la falx.
- Gena : partie inférieure de la capsule céphalique limitée par l'angle oral, l'oeil et la gouttière antennaire, elle peut porter ventralement une cténidie tandis que postérieurement elle se prolonge éventuellement par un processus géral.
- Hamulus : essentiellement constitué par une paire de sclérites de l'aedéage généralement situés de part et d'autre du tubus interior. Chez les Leptopsyllinae ici étudiés, il y'a verrouillage de l'hamulus sur le bras distal du sternite IX. L'hamulus était souvent désigné par le terme "crochet", qui ne doit plus être employé.

- Hilla: partie distale de la spermathèque, souvent plus étroite que la bulga (cf.) et courbée, sa délimitation avec la bulga peut s'accompagner d'un diaphragme. L'apex de la hilla peut s'accompagner d'un petit prolongement, la papilla (ex. *Paractenopsyllus gemelli*).
- Integricipit: cf falx
- Lamina media: cf plaque pénienne
- Manubrium : partie antéro-inférieure du tergite IX du mâle, généralement allongée en manche de brouette
- Mésothorax : deuxième segment thoracique
- mésothorax (Épaississement pleural du -): renforcement interne séparant au niveau de la partie ventrale du mésothorax le mésopleuron en 2 (mésépisternite en avant et mésépiméron en arrière).
- Métathorax : troisième segment thoracique
- Métépiméron : grand sclérite intercalé entre thorax et abdomen, situé à l'emplacement du premier sternite abdominal disparu.
- Métépisternite : petit sclérite plus ou moins fusionné ventralement avec le métanotum, en avant du métépiméron.
- Occiput : portion de la capsule céphalique située en arrière de la falx et au-dessus de la gouttière antennaire.
- Occipital (Sillon -) (= fosse occipitale): dépression médiane et antéro-postérieure de l'occiput chez le male.
- Palpe labial: seul constituant fonctionnel du labium chez les Siphonaptères
- Palpe maxillaire : appendice plurisegmenté fixé sur le stipe
- Papilla : cf hilla.
- Perula: cf ductus bursae.
- Phallosome : organe male de copulation, composé, en majeure partie, de l'aedéage, des hamuli, de la plaque pénienne et des endotendons.
- Plaque pénienne (= lamina media): lame verticale et basale de l'aedéage
- Prothorax : premier segment thoracique, fréquemment porteur d'une cténidie au bord postérieur du pronotum.
- Pseudoseta : expansion cuticulaire en forme de soie, mais non implantée dans une cupule sensorielle.
- Spinules marginales : épines de même origine que celles des cténidies mais considérées comme vestigiales, présentes en petit nombre sur le bord distal de certains segments thoraciques et abdominaux.

- Télomère : partie du tergite IX male articulée sur la face interne du basimère. Il forme la partie mobile de la pince copulatrice.

Annexe 6 : Protocol d'extraction d'ADN à partir des puces.

Preparing Lysates

Materials Needed

- 96-100% ethanol Sample for DNA isolation.
- Zymolase (lyticase) enzyme for yeast lysate Sterile, DNase-free microcentrifuge tubes.
- Water baths or heat blocks.

Components supplied with the kit

- Lysis Buffer (L6).
- Binding Buffer (L3).
- Proteinase K (>400 units/ml).
- RNase (20 mg/ml).

A. Preparing Lysate

Procedure to prepare lysate from mammalian tissues is described below. 2 water baths or heat blocks at 55°C and 70°C, respectively.

1. Place minced fleas into a sterile microcentrifuge tube.
2. Add 180 µl Lysis Buffer (L6) and 20 µl Proteinase K (supplied with the kit) to tube. Ensure the tissue is completely immersed in Lysis Buffer (L6). If you are using a hard mammalian tissue such as heart, you may also need to homogenize the tissue using a tissue homogenizer prior to the addition of Proteinase K.
3. Incubate at 55°C with occasional vortexing until lysis is complete (~3 hours).
4. Optional: Add 20 µl RNase A (supplied in the kit) to lysate and incubate at room temperature for 2 minutes.
5. Centrifuge the lysate at maximum speed for 5 minutes at room temperature to remove any particulate materials.
6. Transfer the supernatant to a fresh microcentrifuge tube, add 10 µl 10% SDS (prepared from 20% SDS supplied with the kit) to the lysate and mix immediately by vortexing for 5 seconds to denature proteins. Add 200 µl Binding Buffer (L3) supplied with the kit to the lysate. Mix well by vortexing for 5 seconds. The SDS precipitates in the presence of guanidine isothiocyanate.
7. Incubate at 70°C for 10 minutes to solubilize SDS and promote protein denaturation.

Prepare lysate using Lysis Buffer (L6) and Proteinase K



Add Binding Buffer (L3) and ethanol to the lysate



Apply sample to a PureLink™ Spin Cartridge



Wash the cartridge twice with Wash Buffer (W4)

Set



Wash the cartridge twice with Wash Buffer (W5)

the



Elute DNA with Elution Buffer (E1)

8. Add 200 μ l 96-100% ethanol to the lysate. Mix well by vortexing for 5 seconds.
9. Proceed to Binding DNA.

B. Purification Procedure

The purification procedure is designed for purifying genomic DNA using a spin column-based centrifugation procedure in a total time of 10-15 minutes.

Materials Needed

- Lysates prepared as described above
- Sterile, DNase-free 1.5 ml microcentrifuge tubes for elution
- Microcentrifuge capable of centrifuging $>10,000 \times g$
- Optional: sterile water, pH 7-8.5, if you are using water for elution

Components supplied with the kit

- Wash Buffers (W4) and (W5)
- Elution Buffer (E1)
- PureLink™ Spin Cartridge in Collection Tubes
- Wash Tubes
- Follow the recommendations below to obtain the best results:
- Perform all centrifugation steps at room temperature
- Perform a 1 minute incubation step with Elution Buffer (E1) or water
- Be sure to perform the recommended wash steps to obtain the best results

Always use sterile water, pH 7-8.5, if you are using water for elution.

C. Elution Volume

The DNA is eluted in 2 aliquots of 200 μ l each to obtain higher DNA yield. The DNA recovery in the first elution is 65-80% and after second elution is $>95\%$. To prevent dilution of the DNA sample and also avoid contact of the spin column with the eluate, perform the two-elution steps using different tubes.

Before

Add 40 ml 96-100% ethanol to 10 ml Wash Buffer (W5) included with the kit. Store the Wash Buffer (W5) with ethanol at room temperature.

Starting

Binding DNA

1. Remove a PureLink™ Spin Cartridge in a Collection Tube from the package.
2. Add the lysate with Binding Buffer (L3) and ethanol prepared as described to the PureLink™ Spin Cartridge.
3. Centrifuge the cartridge at $12,000 \times g$ for 30 seconds at room temperature.
4. Discard the collection tube and place the spin cartridge into a clean Wash Tube supplied with the kit.

5. Proceed to Washing DNA.

Washing DNA

1. Add 500 μ l Wash Buffer (W4) supplied in the kit to the cartridge.
2. Centrifuge cartridge at room temperature at 12,000 x g for 30 seconds. Discard flow through from the Wash Tube and place cartridge into the Wash Tube.
3. Repeat Steps 1-2, once. Discard the flow through.
4. Add 500 μ l Wash Buffer (W5) with ethanol to the cartridge.
5. Centrifuge the cartridge at 12,000 x g for 30 seconds at room temperature. Discard the flow through from the Wash Tube and place the cartridge into the Wash Tube.
6. Repeat Steps 4-5, once. Discard the flow through.
7. Centrifuge the cartridge at maximum speed for 2 minutes at room temperature to remove any residual Wash Buffer (W5). Discard Wash Tube.
8. Proceed to Eluting DNA.

Eluting DNA

Place the spin cartridge in a sterile 1.5-ml microcentrifuge tube.

1. Add 200 μ l of Elution Buffer (E1) or sterile, distilled water (pH >7.0) to the cartridge.
2. Incubate at room temperature for 1 minute. Centrifuge the cartridge at maximum speed for 1.5 minute at room temperature.

The tube contains purified DNA.

3. To recover more DNA, perform a second elution step with 200 μ l Elution Buffer (E1) or sterile, distilled water (pH >7.0) using another sterile 1.5 ml microcentrifuge tube.
4. Centrifuge the column at maximum speed for 1.5 minute at room temperature. The tube contains purified DNA. Remove and discard the cartridge.

Based on the volume of elution buffer used for elution, the recovery of the elution volume varies and is usually >95% of the elution buffer volume used.

Storing DNA

- Store the purified DNA at -20° C or use DNA for the desired downstream application.
- For long-term storage, store the purified DNA in Elution Buffer (E1) at -20° C as DNA stored in water is subject to acid hydrolysis.
- To avoid repeated freezing and thawing of DNA, store the purified DNA at 4° C for immediate use or aliquot the DNA and store at -20° C for long-term storage.

Annexe 7 : Préparation du Gel d'agarose.

Préparer un gel à 1,5% d'agarose

- 1- Peser 1,5 g d'agarose pour 100 ml de tampon TAE.
- 2- Mélanger puis chauffer à la micro-onde jusqu'à la dissolution complète de l'agarose (le mélange doit être clair sans bulle) environ 2 minutes.
- 3- Laisser se refroidir un peu et ajouter 5µl de BIOTIUM pour 100ml environ une goutte.

Préparer la cuve et couler le gel dans le portoir

- 1- Attendre que le gel soit bien sec avant de retirer les peignes environ 15 minutes.
- 2- Placer le portoir dans la cuve, remplir de tampon TAE à 1X, ôter les arrêtoirs
- 3- Charger les puits de 10µl d'amplicons mélangés au tampon de charge (sur PARAFILM)
- 4- Mettre 2,5 µl de marqueur de taille (small ladder) à une extrémité
- 5- Couvrir la cuve
- 6- Laisser migrer le gel 25 minutes à 100V
- 7- A la fin de la migration, éteindre le courant, enlever le couvercle et sortir le portoir, le placer sur le trans-illuminateur, et visualiser les bandes fluorescentes à l'obscurité.

Annexe 8 : Amplification du gène de la citrate synthase du genre *Rickettsia*.

Couples d'amorces et séquences 5'-3'	RCK/23-5-F	GATAGGTCRGRTGTGGAAGCAC
	RCK/23-5-R	TCGGGAYGGGATCGTGTGTTTC
Gène amplifié	gltA(citrate synthase)	
Préparation du « mix » pour un échantillon (pour une quantité d'ADN de 5 µL)	Eau pure pour PCR : 13,3 µL Tampon Taq : 0,2 µL dNTP (nucléotides) : 2 µL TP : 2,5 µL Amorces : 2 µL (1µL/amorce) Taq polymérase : 0,2 µL	
Programme d'amplification	<ul style="list-style-type: none">• Dénaturation initiale 2 min 95°C• Amplification (40 cycles):• Dénaturation 30 sec 95°C• Hybridation 30 sec 55°C• Extension 55 sec 65°C• Extension 3 min 72°C• Conservation 4°C	

Annexe 9 : Amplification du gène de la citrate synthase du genre *Bartonella*.

Couples d'amorces et séquences 5'-3'	BhCS 1137 N	AATGCAAAAAGAACAGTAAACA
	BhCS 781 P	GGGGACCAGCTCATGGTGG
Gène amplifié	gltA(citrate synthase)	
Préparation du « mix » pour un échantillon (pour une quantité d'ADN de 5 µL)	Eau pure pour PCR : 13,3 µL Tampon Taq : 0,2 µL dNTP (nucléotides) : 2 µL TP : 2,5 µL Amorces : 2 µL (1µL/amorce) Taq polymérase : 0,2 µL	
Programme d'amplification	94°C pendant 8 minutes 94°C pendant 30 sec 55°C pendant 1 minute 72 °C pendant 2 minutes 72 °C pendant 5 minutes 72°C pendant 10 minutes 4°C pendant 9 heures	

Article I

« Caractérisation et dynamique des peuplements de puces de la faune sauvage et domestique : impact sur la santé ».

Bachir El Mouaz Madoui, Feriel Sakraoui, Moussa Houhamdi & Zihad Bouslama.

Faunistic Entomology 2014 ; **67**, 3-13

Article II

« Inventaire des différentes Espèces de Puces du Chat Présentes dans le Nord-est D'Algérie (Région D'Annaba) ».

Bachir El Mouaz Madoui, Ali Bouattour and Et Zihad Bouslama.

European Journal of Scientific Research 2014 ; **118-2**, 163-171.