



HAL
open science

Lutte intégrée contre deux insectes synanthropes : Blatella germanica et Cimex lectularius. Apports de l'écologie scientifique pour le conseil à l'officine

Agnès Mourier

► To cite this version:

Agnès Mourier. Lutte intégrée contre deux insectes synanthropes : Blatella germanica et Cimex lectularius. Apports de l'écologie scientifique pour le conseil à l'officine. Sciences pharmaceutiques. 2014. dumas-01010263

HAL Id: dumas-01010263

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01010263>

Submitted on 19 Jun 2014

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

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

UNIVERSITÉ de BORDEAUX
U.F.R DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES

Année 2014

Thèse n° 22

Thèse pour l'obtention du
Diplôme d'État de Docteur en Pharmacie

Présentée et soutenue publiquement

Le 21 mars 2014 à Bordeaux

Par **MOURIER Agnès**

Née le 05/08/1980 à TALENCE

Lutte intégrée contre deux insectes synanthropes

Blattella germanica* et *Cimex lectularius

**Apports de l'écologie scientifique
pour le conseil à l'officine.**

Directeur de thèse

M. Gilbert HAUMONT

Jury

Monsieur Gilbert HAUMONT

Maître de conférences

Président

Madame Mireille GUY

Assistante universitaire

Juge

Madame Muriel MASSON

Docteur en pharmacie

Juge

Résumé

Les invasions biologiques ou proliférations de nuisibles, de plus en plus fréquentes, sont l'une des premières causes de perte de biodiversité, la source de pertes économiques importantes et dans certains cas entraînent des retentissements sanitaires. Face aux problèmes de résistance et de toxicité des produits chimiques largement utilisés jusqu'ici, les pouvoirs publics se penchent de plus en plus sur les méthodes dites "biologiques" pour y remédier. Ces méthodes s'appuient sur la connaissance de l'écologie des organismes "nuisibles", qui ne peut être envisagée sans une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes et du rôle de la biodiversité.

C'est dans cet esprit que nous abordons le cas d'insectes qualifiés de synanthropes (vivant dans nos maisons), un commensal, la blatte, et un parasite, la punaise des lits. La blatte germanique, *Blattella germanica*, entraîne des problèmes d'hygiène et est aussi à l'origine de manifestations allergiques. La punaise des lits *Cimex lectularius* est un ectoparasite piqueur hématophage qui est en forte recrudescence depuis une dizaine d'années. Ces insectes sont devenus résistants à de nombreux insecticides et pour cette raison la mise en place de méthodes de lutte dites intégrées s'avère indispensable.

Pour chacun nous rapportons les connaissances sur leur biologie permettant de mener cette lutte « biologique » associée si nécessaire à une lutte chimique dans le but d'améliorer le conseil à l'officine.

Mots-clés : *Blattella germanica*, *Cimex lectularius*, invasions biologiques, biodiversité, écosystèmes, lutte intégrée.

Abstract

Biological invasions or pest proliferations are more and more frequent and are one of the first causes of major biodiversity and economic losses and in some cases may pose health impacts. Chemicals were widely used until now, but their toxicity and the growing immunity of insects make public authorities to favor biological methods. These methods are based on the knowledge of the pests' ecology, which can't be envisioned without a better understanding of ecosystems functional processes and the role of biodiversity.

In this perspective, we are going to approach the case of two synanthrope insects (which live in our houses), one commensal, the cockroach, and one parasite, the bedbug. The german cockroach, *Blattella germanica*, causes hygiene and allergic problems. The bedbug, *Cimex lectularius*, is a blood-sucking ectoparasite which is strongly recrudescing throughout the last decades. These insects becoming increasingly resistant to most pesticides are the main reason for the development of the integrated pest management.

For each one, we report the knowledge on their biology which permit to conduct this biological fight combined if necessary with a chemical aid in order to improve pharmacist's advice.

Key-words : *Blattella germanica*, *Cimex lectularius*, biological invasions, biodiversity, ecosystem, integrated pest management.

Remerciements

À mon président et directeur de thèse,

Monsieur HAUMONT, *Maître de conférence à l'université de Bordeaux,*

Je vous remercie d'avoir accepté de diriger cette thèse et de m'avoir donné l'occasion de m'intéresser à un sujet aussi passionnant. Merci pour votre confiance, votre soutien, votre disponibilité et vos encouragements tout au long de ce travail.

À mes juges,

Madame GUY, *Assistante universitaire à l'Université de Bordeaux,*

Je vous remercie sincèrement d'avoir accepté de juger cette thèse et pour l'intérêt et le temps que vous avez bien voulu consacrer à mon travail

Madame MASSON, *Docteur en pharmacie,*

Je vous suis profondément reconnaissante d'avoir si promptement et si gentiment accepté de juger cette thèse et de la confiance que vous avez bien voulu m'accorder en tant que pharmacien.

À mes parents et beaux-parents

Je remercie mon père et sa femme, Catherine, pour leur soutien et leur patience, pendant ces longues années d'étude.

Je remercie ma mère et son mari, Patrice, pour leurs encouragements et leur soutien. Merci maman d'avoir toujours cru en moi.

À ma famille

Je remercie mon frère et ma belle-sœur, Cécile, d'avoir si gentiment accepté, plus particulièrement Cécile, de relire et de corriger cette thèse. Merci pour vos encouragements, et pour mon merveilleux neveu Rafaël.

Je remercie mes sœurs, Jessica, Alicia et Maëva, et mon frère Lucas, de m'avoir encouragée, et de ne pas me tenir rigueur de ne pas avoir été très présente.

Je remercie ma tante, Madeleine, et mon oncle, Paul, qui m'ont encouragée depuis leur arrivée sur Bordeaux.

Je remercie mes cousins et cousines, Fred, Jérôme, Valérie et Élisabeth qui m'ont soutenue et motivée tout au long de ce travail. Merci à Jérôme en particulier pour ces petits messages d'encouragement.

À mes amis

Je remercie mes copines de pharma, Audrey, Béatrice et Marion, et mon pote de pharma, Guillaume, perdu dans sa jungle guyanaise, vous m'avez soutenue et motivée tout au long de ces années. Merci Béatrice d'avoir fait le trajet depuis Paris pour être parmi nous aujourd'hui

Je remercie Audrey, encore elle, pour avoir bien voulu corriger ma thèse, et son chéri Cédric, merci pour votre soutien et vos encouragements, je vous dois beaucoup.

Je remercie, Marion pour sa relecture, et Vincent, son chéri, merci à vous deux pour vos encouragements et d'être présents aujourd'hui.

Je remercie mon Yaya, Yanick et mon Cricri, Christophe, mes amis de longue date, qui m'ont soutenue et encouragée tout ce temps. Merci Yanick d'avoir fait le trajet depuis Angers pour assister à cette thèse.

Je remercie Clément, pour le temps qu'il a bien voulu prendre pour relire et corriger cette thèse, et son chéri Xavier, merci pour votre soutien.

Je remercie Anthony, dit Toto, qui m'a permis de souffler pendant ces longues semaines. Je remercie également Marco qui m'a motivée et Guillaume qui m'a soutenue.

Je remercie tous ceux qui ne sont pas là aujourd'hui mais qui m'ont soutenue tout au long de ces années ; Julien, tu as toujours plus cru en moi que moi-même, j'aurais tant aimé que tu sois là aujourd'hui.

Je remercie tous ceux que j'aurais pu oublier, mais aussi tous ceux qui ne sont plus là, je pense plus particulièrement à mes grands-parents qui seraient si fiers de moi.

Et je remercie ma petite Ilsa, dont les regards et les câlins m'ont été si précieux.

Tables des matières

Introduction	9
1. Quelques notions d'écologie scientifique	10
1.1. Généralités sur les écosystèmes	10
1.1.1. Qu'est-ce qu'un écosystème?	10
1.1.2. Le système population-environnement	11
1.1.3. L'environnement	12
1.1.4. Notion de dynamique des populations	12
1.2. Interactions entre espèces et biodiversité	12
1.2.1. La compétition interspécifique	13
1.2.2. La prédation sensu lato	15
1.2.3. Les relations hôtes-parasites	17
1.2.4. Les relations de coopération	19
1.3. Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes	23
1.3.1. Définition de la biodiversité	23
1.3.2. Fonctionnement d'un écosystème	23
1.3.3. Exemple du système digestif humain	24
1.4. Écologie des espèces invasives	26
1.4.1. Définition du concept d'invasion biologique	26
1.4.2. Facteurs déterminant la capacité invasive d'une espèce	27
1.4.3. Impacts des espèces invasives	28
1.4.4. Méthodes de lutte contre les espèces invasives	29
1.5. La lutte chimique: principe et problématique	31
1.5.1. Les insecticides	31
1.5.2. Problème de la résistance aux insecticides	32
1.5.3. Toxicité des insecticides	33
2. Les blattes	37
2.1. Généralités	37
2.1.1. Taxonomie	37
2.1.2. Principales caractéristiques de l'ordre des <i>Blattaria</i>	38
2.1.3. Les quatre espèces invasives en France	39

2.2. Biologie de <i>Blattella germanica</i>	43
2.2.1. Reproduction	43
2.2.2. Cycle de vie	45
2.2.3. Comportement	46
2.2.4. Phénomènes d'agrégation	47
2.3. Impacts sur la santé humaine	48
2.3.1. Nuisances.....	48
2.3.2. Transmission de maladies	48
2.3.3. Allergies	49
2.4. Méthodes de lutte	49
2.4.1. Localisation des blattes	50
2.4.2. Hygiène	51
2.4.3. Lutte physique	52
2.4.4. Lutte chimique	53
2.4.5. Contrôle de l'efficacité du traitement	56
2.5. Les ennemis naturels: la lutte biologique	56
2.5.1. <i>Scutigera coleoptrata</i> ou scutigère vélocé	56
2.5.2. Les Gekkota ou geckos	57
2.5.3. <i>Erinaceus europaeus</i> ou hérisson d'Europe.....	57
2.5.4. <i>Euscorpis flavicaudis</i> ou scorpion à queue jaune.....	58
2.5.5. Les hyménoptères ou guêpes parasitoïdes	58
2.5.6. Champignons entomopathogènes	60
3. Les punaises des lits: <i>Cimex lectularius</i>	61
3.1. Généralités	61
3.1.1. Taxonomie	62
3.1.2. Les deux espèces invasives chez l'homme en France :	
<i>Cimex lectularius</i> et <i>Cimex hemipterus</i>	62
3.2. Biologie	64
3.2.1. Cycle biologique et influence de la température.....	64
3.2.2. Comportement.....	66

3.3. Impacts sur la santé humaine	69
3.3.1. Lésions cutanées.....	70
3.3.2. Anémies.....	71
3.3.3. Transmission de pathogènes	71
3.3.4. Troubles psychologiques	72
3.4. Méthodes de lutte	72
3.4.1. Interrogatoire épidémiologique et clinique des patients.....	72
3.4.2. Recherche active de l'insecte	73
3.4.3. La lutte mécanique	74
3.4.4. La lutte chimique	77
3.4.5. Prévention	79
3.5. Les ennemis naturels: la lutte biologique	79
3.5.1. <i>Scutigera coleoptrata</i> ou scutigère vélocé	79
3.5.2. Les Réduvidées.....	79
3.5.3. Les Formicidées	82
3.5.4. Les Arachnides.....	84
3.5.5. <i>Pyemontes ventricosus</i>	86
Conclusion	87
Annexes	88
Tableau I : Caractéristiques biologiques et paramètres biologiques des quatre espèces de blattes invasives en France.....	88
Tableau II : Liste des organismes pathogènes isolés à partir des blattes.....	89
Tableau III : Insecticides utilisables dans la lutte contre les blattes.....	90
Tableau IV : Les six sous-familles et les 23 genres de <i>Cimidae</i>	91
Tableau V : Résumé des principales caractéristiques biologiques des punaises des lits	92
Tableau VI : Les insecticides utilisables dans la lutte contre les punaises des lits	93
Bibliographie	94

Introduction

L'homme a toujours cherché à modifier son environnement pour améliorer ses conditions de vie. Son empreinte sur la planète est telle, qu'à partir du début de la révolution industrielle, au dix-neuvième siècle, les paléo-climatologues parlent d'une nouvelle ère l'Anthropocène (1). Ce terme a été inventé pour caractériser la révolution géologique que nous vivons, que ce soit en termes de réchauffement planétaire ou de perte de biodiversité.

Les échanges intercontinentaux entre l'Afrique et l'Eurasie ont débuté très tôt, au moins dès le troisième millénaire avant notre ère. Ils se sont fortement développés avec les moyens de transport maritime, notamment dès le quinzième siècle, avec la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb, accélérant et augmentant le transfert d'espèces. Le commerce international qui connaît un essor à partir du dix-neuvième siècle, grâce au développement des transports routiers et aériens, a considérablement accru ce nombre de transferts. L'introduction d'espèces dans un nouvel écosystème, qu'elle soit volontaire ou involontaire, peut avoir des conséquences désastreuses et entraîner une importante perte de biodiversité.

Les hommes de plus en plus nombreux, regroupés dans des villes, ont profondément remodelé le paysage terrestre, ces villes ainsi que les habitations qui les composent constituant de véritables écosystèmes. De par son regroupement et la multiplication des échanges internationaux, l'homme favorise la dissémination de maladies et d'espèces. L'augmentation du confort, s'accompagne d'effets pervers, car ces milieux chauffés et relativement stables que constituent nos habitats représentent un milieu favorable pour de nombreux insectes et acariens. Si certains passent inaperçus, d'autres de par leur capacité invasive vont pouvoir être à l'origine de nuisances, voire même représenter un véritable problème de santé publique.

Si jusqu'ici le recours aux insecticides semblait être la meilleure alternative, leur toxicité vis à vis de la santé humaine et de l'environnement, et les problèmes croissants de résistance en limitent l'utilisation. La lutte passe aujourd'hui par la compréhension de l'écologie des espèces invasives.

C'est dans cet esprit que dans une première partie nous aborderons les grands principes de l'écologie scientifique: comprendre le fonctionnement d'un écosystème et l'importance des relations interspécifiques pour appréhender l'écologie des espèces invasives et les problèmes posés par les insecticides.

Nous aborderons ensuite le cas de deux insectes, qui constitueront notre deuxième et troisième parties, la blatte, *Blattella germanica*, bien connue pour ses capacités invasives ; et la punaise des lits, *Cimex lectularius*, dont les populations ont explosé ces dernières années. Pour chacun d'entre eux nous étudierons leur histoire, leur biologie, leurs impacts sur la santé humaine, les méthodes de lutte, et leurs prédateurs naturels.

1. Quelques notions d'écologie scientifique

Ces dernières années, des progrès considérables ont été réalisés concernant la connaissance des caractéristiques des espèces invasives et les dégâts causés sur la flore et la faune autochtone. Mais ces espèces ne peuvent être considérées sans tenir compte de l'écosystème récepteur. L'intérêt de l'écologie scientifique est d'apporter une approche holistique avec pour objectif de comprendre les conséquences de l'arrivée d'une de ou plusieurs espèces invasives sur le fonctionnement de systèmes récepteurs, les pertes de services rendus et les remplacements de certains d'entre eux par des services inédits dans l'écosystème. Le but ultime étant de pouvoir prévoir quels systèmes pourraient se substituer aux écosystèmes actuels suite à des invasions qui semblent aujourd'hui inévitables (2).

1.1. Généralités sur les écosystèmes

1.1.1. Qu'est-ce qu'un écosystème?

Notre planète est constituée de continents, sur ces continents, on peut distinguer de vastes domaines géographiques en relation avec les zonations climatiques et les reliefs, qui déterminent des formations d'aspect très différent, les biomes. La forêt tropicale dense, la savane, la steppe, la forêt tempérée, la toundra, les déserts sont les grands biomes caractérisant la biosphère. Ces biomes ont une répartition zonale, ils ne dépassent pas certaines valeurs latitudinales. Ils ont contribué à isoler localement certains sous-ensembles d'espèces. Ils constituent un ensemble d'écosystèmes.

En écologie, une **biocénose** ou (**biocoenose**) est l'ensemble des **êtres vivants** coexistant dans un espace défini, le **biotope**. L'ensemble, **biocénose** plus **biotope**, forme un écosystème, ainsi que leur organisation et leur richesse spécifique (3).

Les écosystèmes sont des **systèmes ouverts**, c'est à dire en interaction avec l'environnement qui les entoure. Ainsi, si l'on peut considérer un lac comme un écosystème, il n'en existe pas moins des interactions avec l'air, les terres qui se trouvent à proximité et les éventuels ruisseaux et sources qui l'alimentent. On limite volontairement la taille du système en fonction des critères que l'on veut étudier. Ainsi en ce qui concerne l'objet de cette thèse, les villes françaises représenteraient des biomes, ensemble plus ou moins homogène et les domiciles des biotopes, lieux de vie définis par des caractères physico-chimiques relativement uniformes.

L'écosystème peut être considéré comme un **système population-environnement**.

1.1.2. Le système population-environnement

En écologie une population est un ensemble d'individus de même espèce pouvant communiquer et interagir entre eux. Ainsi la population peut être considérée comme un système caractérisé par diverses variables d'état : densité, distribution spatiale, structure d'âge, structure sociale et structure génétique (fréquences alléliques). Les variables d'état sont affectées par les processus démographiques : natalité, mortalité, émigration et immigration qui impriment à la population une certaine cinétique. Ces processus démographiques dépendent des propriétés de l'environnement : climat, milieu physico-chimique, espace, prédateurs, et des propriétés des individus : reproduction, croissance, nutrition, mobilité, défense anti-prédateur, aptitude compétitive....

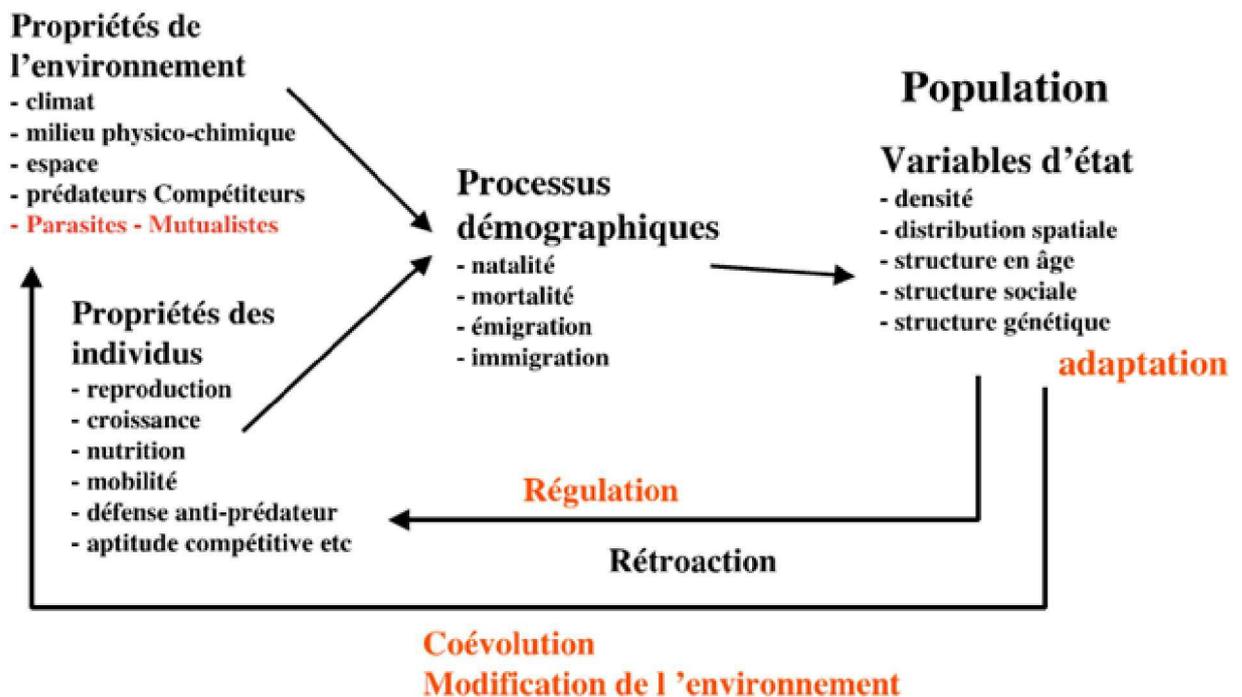


Figure 1 : Unité d'étude en écologie : le système population-environnement

(Source : Université de Lyon,
http://pbil.univ-lyon1.fr/members/mbailly/Intro_Bio/hotes_parasites.pdf)

La population n'est pas un système fixe, elle est soumise à de nombreux facteurs de régulation, le tout en perpétuelle interaction avec son environnement lui-même changeant. Les êtres vivants doivent continuellement évoluer pour maintenir leur place dans l'environnement biologique et physique, c'est la course pour l'adaptation illustrée par Van Hallen (1973) par la Reine Rouge d'Alice au pays des merveilles (4) : "Ici, voyez-vous, il faut courir aussi vite que possible pour rester au même endroit" (Lewis Carroll).

1.1.3. L'environnement

L'environnement comprend d'une manière très générale, le **cadre climatique et physico-chimique** où évolue la population, les **sources de nourriture** (espèces-proies, éléments minéraux, matière organique), les nombreuses **populations** qui peuvent interagir avec l'espèce étudiée (compétition, mutualisme, symbiose, modification du milieu) et **l'interaction des individus** entre eux.

Dans le cadre des insectes auxquels nous nous intéressons dans cette thèse, l'environnement est représenté par l'intérieur du domicile, milieu relativement stable au cours du temps puisque fermé et chauffé pendant les périodes de froid. Les sources alimentaires sont représentées par les restes alimentaires entre autres (blattes cf 2.2.3) et l'homme lui-même (punaises des lits cf 3.2.2.1). Nous reviendrons sur ces facteurs pour chacune des espèces considérées dans les parties les concernant.

1.1.4. Notion de dynamique des populations

Le système population-environnement est un système en **constante évolution**.

La dynamique des populations tentent de comprendre les facteurs responsables des variations d'effectifs au sein d'une population. Les populations ne croissent pas indéfiniment dans un environnement donné, leur croissance va être limitée par les ressources présentes dans le milieu, qu'elles soient d'ordre trophique (eau, aliments, minéraux), spatial (abris, sites de ponte et de nidification) ou reproductif (partenaires sexuels). Il va y avoir compétition entre les individus d'une même espèce (**compétition intra-spécifique**) pour ces ressources. Cette compétition va réguler l'effectif de la population, il y a densité-dépendance négative du taux de croissance par individu (**3**) : la croissance de la population n'est pas exponentielle elle va augmenter au dessous d'une certaine densité, appelée **capacité limite du milieu à l'équilibre**, diminuer quand elle est au dessus. Mais la compétition intra-spécifique n'est pas le seul élément régulateur de l'effectif d'une population, les autres espèces présentes dans le milieu ont également une influence (prédation, parasitisme, agents pathogènes, compétition interspécifique).

1.2. Interactions entre espèces et biodiversité (4)

Chaque individu ou population peut avoir un effet positif (facilitation), négatif (inhibition) ou neutre (absence d'effet) sur un autre individu ou une population. Dans un écosystème donné, la compétition intra-spécifique n'est pas le seul mécanisme régulateur d'une population, les interactions avec les autres espèces en présence vont également influencer sur sa dynamique et son évolution. Les **interactions** entre espèces sont généralement classées

en quatre grands types d'interactions :

- la **compétition interspécifique** : notion de niche écologique (coactions potentiellement négatives dans les deux sens);
- la **prédation *sensu lato*** (coactions "mangeur-mangé", positives pour le premier, négatives pour le second);
- les **relations hôtes-parasites**
- la **coopération** (symbiose, commensalisme, mutualisme) (coactions positives au moins dans un sens)

1.2.1. La compétition interspécifique

1.2.1.1. Mécanismes de compétition interspécifique

La compétition interspécifique correspond à l'**interaction entre deux espèces**, l'une ayant un effet négatif sur la croissance de l'autre. Tout comme dans la compétition intra-spécifique, deux mécanismes compétitifs sont généralement reconnus :

- la **compétition par exploitation**, qui est un mécanisme d'interaction indirecte dans lequel les espèces en présence sont en compétition pour une ressource commune limitante : nourriture, abris, (partenaires sexuels pour la compétition intra-spécifique) et se produit quand la ressource est en quantité insuffisante pour les deux espèces.

- la **compétition par interférence** qui est un mécanisme d'interaction directe :

- soit comportemental, par son comportement, une espèce prive une autre espèce d'accès à la nourriture ou aux sites de vie, ceci même quand la ressource commune est suffisante ;

- soit chimique, par libération de composés organiques dans l'environnement, on parle alors d'allélopathie **(5)**.

1.2.1.2. Notion de niche écologique

Le modèle le plus simple de compétition (Lokta et Volterra) produit deux équilibres possibles : soit l'élimination d'une des deux espèces, on parle alors **d'exclusion compétitive**, soit un équilibre stable dans lequel les deux espèces peuvent coexister. La **coexistence stable** peut se produire quand la compétition interspécifique est faible par rapport à la compétition intra-spécifique.

L'expérience ci-dessous illustre les effets de la compétition. Dans un premier temps, on étudie la croissance de trois espèces de *Paramecium* en monoculture. Dans un second

temps, on procède à une culture mixte, avec à gauche une co-culture de *P. caudatum* et de *P. aurelia* qui conduit à l'exclusion compétitive de *P. caudatum*, et à droite une co-culture de *P. caudatum* et de *P. bursaria* qui conduit à la coexistence des deux espèces mais dans des densités inférieures à celles obtenues en monoculture.

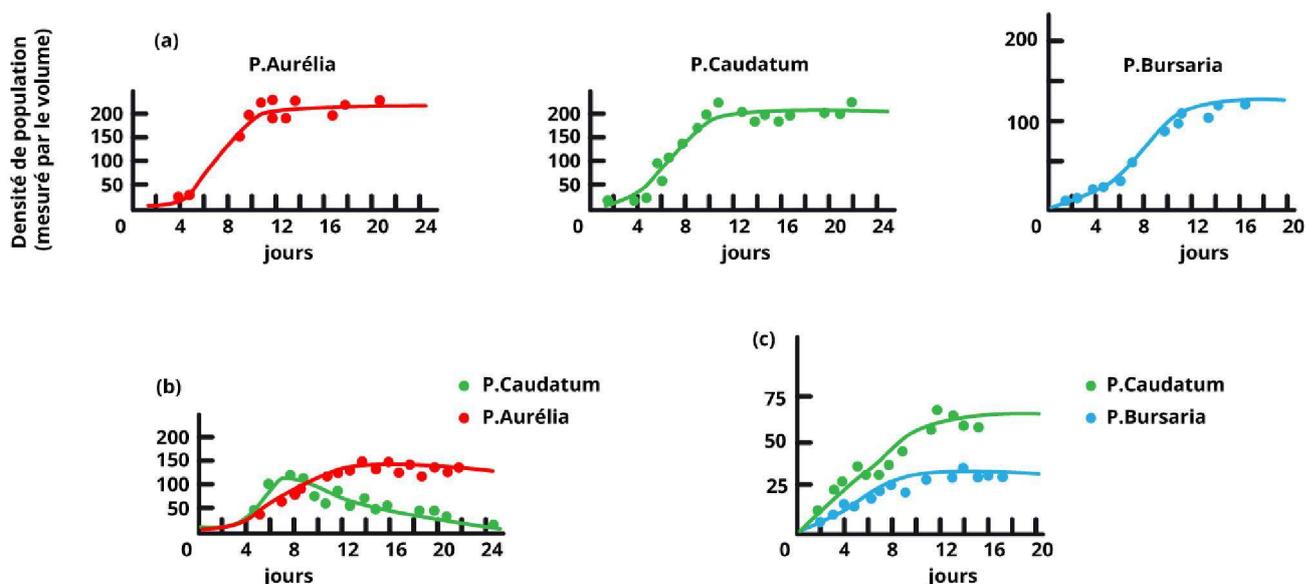


Figure 2 : Effets de la compétition interspécifique sur des cultures de paramécies. La compétition entre espèces du genre *Paramecium* (protozoaires) (a) *P. aurelia*, *P. caudatum* et *P. bursaria* en monoculture se stabilisent à certaines densités. (b) En culture mixte, *P. aurelia* élimine *P. caudatum*. (c) *P. caudatum* et *P. bursaria* coexistent, mais les densités sont plus faibles qu'en monoculture (Gause 1934).

(Source : Université Lille 1) (6)

Les interactions interspécifiques sont des facteurs de dynamique et de structuration des populations des écosystèmes. Hutchinson (1957) définit la niche comme l'ensemble des conditions dans lesquelles vivent et se perpétuent les populations. En pratique, la **niche écologique** est un espace à trois dimensions caractérisant les besoins les plus pertinents d'une espèce : un **axe spatial**, résumant les variables climatiques et physico-chimiques ; un **axe trophique**, représentant les types de proies potentielles ; un **axe temporel**, traduisant le mode d'utilisation dans le temps (cycle nyctéméral, cycle saisonnier) de l'espace et de la nourriture. Le premier déterminant de la **compétition interspécifique** est le **chevauchement dans les ressources utilisées**. Cette interaction compétitive peut avoir deux conséquences : soit un déplacement écologique, par lequel une ou les deux espèces déplacent ou réduisent leur niche, soit l'exclusion d'une des espèces. Il est intéressant de noter, sans pour autant pouvoir parler de compétition interspécifique avec exclusion écologique, que de nombreuses études ont démontré que la présence de blattes xylophages dans la litière végétale était corrélée négativement à la présence de termites dans les zones montagneuses (7).

1.2.1.3. La compétition interspécifique facteur de biodiversité

La compétition interspécifique est le moteur de l'exclusion compétitive et de la ségrégation de niches écologiques (ségrégation trophique, spatiale et temporelle). Les interactions interspécifiques sont ainsi responsables d'une modification de la niche potentielle en niche réalisée, elles influencent donc la diversité génétique et l'organisation spatiale et temporelle des écosystèmes et donc la biodiversité.

Si les communautés sont structurées par la compétition quand les ressources sont limitées, de nombreux autres phénomènes maintiennent les populations à des densités telles que les ressources ne sont pas limitantes (facteurs physiques de l'environnement, maladies, etc...), assurant ainsi une plus grande diversité écologique. La prédation est un des mécanismes qui maintient les populations à des effectifs plus faibles que ceux attendus en fonction de l'abondance des ressources.

1.2.2. La prédation sensu lato

La prédation est la **consommation d'un organisme vivant** (la proie) par un autre organisme (le prédateur). Les prédateurs agissent directement sur la productivité des populations dont ils se nourrissent, à ce titre les organismes détritivores et décomposeurs (saprophytes), ne sont pas des prédateurs. On distingue trois grands types de prédation :

- la prédation *sensu stricto* : le prédateur tue sa proie immédiatement,
- le parasitisme : la proie reste vivante au moins un certain temps, nous reviendrons sur le cas particulier des parasites dans la partie 1.2.3,
- l'herbivorie : la proie est un végétal.

1.2.2.1. Influence des prédateurs sur la population de proies

La prédation conduit rarement à l'extinction des proies dans les conditions naturelles. Dans la majorité des cas, les prédateurs se nourrissent au dépens d'animaux affaiblis : individus privés d'abris, errants, blessés, malades, et ne feraient qu'éliminer les individus en surnombre. La prédation peut également intervenir à un stade du développement de la proie qui n'a pas d'impact sur sa démographie. De surcroit, plus la proie est rare, plus sa capture est coûteuse pour le prédateur, beaucoup de prédateurs se concentrent donc sur les proies les plus abondantes. Quand la proie est rare, le prédateur change de proie.

La prédation est **densité-dépendante**, les prédateurs vont concentrer leur effort de capture là où les proies sont abondantes, la prédation modifie donc la répartition spatiale des proies. En limitant le nombre des individus de la population proie, les prédateurs

diminuent la compétition intra-spécifique mais également la compétition interspécifique, un plus grand nombre de proies relativement rares coexistent.

La prédation joue donc un rôle important dans la **biodiversité**, en empêchant le monopole des ressources par une seule espèce et en modérant la compétition. La notion d'**espèce clé de voute** est mise en avant par Paine (1969) (4). Il retire expérimentalement un prédateur dominant, l'étoile de mer *Pisaster ochraceus* dans une communauté intertidale de Mukkaw Bay sur la côte ouest des États-unis d'Amérique. En réponse à ce retrait la communauté passe de 15 espèces animales à 8 espèces, suite à la prolifération de l'espèce proie, la moule *Mytilus californianus*, qui devient alors prédateur dominant.

Ainsi les prédateurs pourraient jouer un **rôle clé dans la structuration des communautés naturelles**, notamment en limitant la prolifération de certaines espèces compétitivement dominantes et en favorisant la coexistence d'espèces potentiellement compétitives.

Cependant de nombreux exemples montrent que dans certains cas la prédation limite la taille des populations de proies, c'est le cas notamment dans la lutte biologique où l'introduction d'insectes parasites permet de réduire les populations d'insectes ravageurs. Ainsi l'introduction de prédateurs peut elle être une solution dans la lutte contre les espèces invasives, propriété qui mérite d'être considérée avec attention dans la lutte contre les blattes (cf 2.4.5) qui possèdent de nombreux prédateurs.

1.2.2.2. Réponse des prédateurs aux variations des densités de proies

Holling (1959) distingue deux types de réponses des prédateurs aux variations d'abondance des proies :

- la **réponse fonctionnelle** qui correspond au nombre de proies consommées par un prédateur. Il distingue ainsi trois types de réponses fonctionnelles. On retiendra que le nombre de proies consommées par prédateur augmente avec la disponibilité des proies jusqu'à une valeur limite. Cette réponse fonctionnelle d'un prédateur à la densité de sa proie principale peut dépendre aussi de l'abondance des proies secondaires. La consommation que fait le prédateur d'un certain type de proie dépend non seulement de la densité de celle-ci mais aussi de la fréquence de cette dernière par rapport à d'autres types de proies possibles.

- la **réponse numérique** concerne la population du prédateur, elle exprime les variations de densité du prédateur en fonction des variations de densité de l'espèce proie. D'abord la population de proies consommées par un prédateur augmente, puis ensuite le nombre de prédateurs augmente. Cette réponse numérique peut passer par des variations du taux de

croissance individuel, de la durée de développement, des taux de fécondité et de mortalité, des taux d'émigration ou d'immigration.

L'expérience d'Huffaker montre les oscillations périodiques du système prédateur-proie. Cette expérience est réalisée sur des acariens, *Eotetranychus sexmaculatus* (phytophage élevé sur des oranges) et *Typhlodromus occidentalis* (prédateur du premier). Il a simulé un environnement complexe d'hétérogénéité spatiale élevée en répartissant sur trois plateaux superposés 120 oranges recouvertes de paraffine, qui empêche la dispersion des prédateurs, et en augmentant la capacité de dispersion des proies à l'aide de courants d'air. On voit bien les variations de densité du prédateur en fonction des variations de densité de la proie.

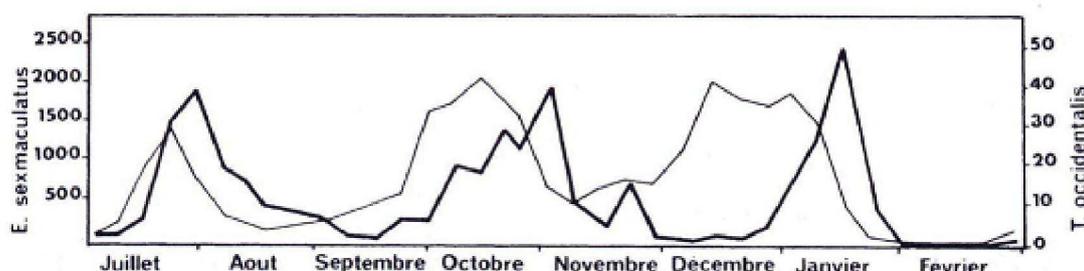


Figure 3 : Coexistence et fluctuations des populations des acariens *Typhlodromus occidentalis* (prédateur, trait épais) et *Eotetranychus sexmaculatus* (proie, trait fin) dans le système expérimental "complexe" (Huffaker, 1958) (4)

1.2.3. Les relations hôtes-parasites

Toutes les espèces sont soit parasites, soit hôtes d'un ou plusieurs parasites.

1.2.3.1. Caractéristiques de la vie parasitaire

L'habitat est déterminé par l'hôte, on distingue usuellement les **ectoparasites** (hématophages ou suceurs de sève cf : acariens ci-dessus), qui vivent à la surface du corps de leur hôte, et les **endoparasites**, lesquels sont souvent inféodés au tube digestif, au système circulatoire ou à d'autres viscères. L'hôte représente un milieu stable, avec homéostasie des paramètres physico-chimiques, mais représente également un risque par ses mécanismes de défense.

Le milieu animal est également mobile. Le parasite adulte étant fixe, la mobilité de l'hôte augmente la capacité de dispersion des formes de reproduction.

Contrairement aux prédateurs, les parasites ne tuent pas leurs hôtes, ils se nourrissent à ses dépens, Il peut ainsi réduire l'allocation d'énergie dévolues à la recherche de nourriture.

À la différence des prédateurs, beaucoup de parasites sont des spécialistes : la plupart

des espèces ne dépendent que d'un seul hôte. L'espèce a développé des adaptations morphologiques, biochimiques, physiologiques, éthologiques et démographiques qui interviennent de manière essentielle dans la dynamique et l'évolution de la relation parasite-hôte.

1.2.3.2. Contraintes de la vie parasitaire

Les contraintes liées à la condition d'**endoparasites** vont être :

- La **discontinuité spatiale** des hôtes, les hôtes représentant pour le parasite des îles dispersées dans un environnement inhospitalier, nécessite des stades spécialisés dans la transmission. Un exemple d'adaptation est le mécanisme de favorisation. Ainsi le trématode *Microphallus papillorobustus* modifie le comportement de son deuxième hôte intermédiaire *Gammarus insensibilis* petit crustacé dont s'alimente l'hôte définitif du parasite. Les individus infestés par le trématode vont présenter des mouvements désordonnés qui facilitent leur prédation par les canards (4).

- La **discontinuité temporelle** des hôtes, leur nature mortelle est à l'origine des cycles parasitaires

- L'hôte représente un milieu hostile, l'hôte attaque le parasite sauf si il tire avantage de sa présence ou si le coût de la défense est supérieur au coût de la tolérance. Les parasites ont été obligés de développer des **stratégies d'évasion immunitaire**.

- L'hôte évolue au cours du temps, avec des modifications anatomiques, physiologiques ou comportementales. Les interactions durables sont non seulement des interactions entre les phénotypes d'individus d'espèces différentes, mais également des interactions entre leurs génomes, grâce à la durée de l'interaction. À ce titre le système parasite-hôte peut être considéré comme un **super-organisme**.

Dans le cas des **ectoparasites**, qui sont inféodés à la surface de l'hôte, le parasitisme est soit temporaire (punaises des lits, moustiques...), soit permanent (poux...). C'est le fait le plus souvent d'insectes ou d'acariens. On va parler d'ectoparasites **synanthropes** chez l'homme (voir 3), la synanthropie étant un terme qui s'applique aux espèces sauvages qui tirent un bénéfice des humains à proximité desquels ils vivent, que ce soit en termes de nourriture ou d'habitat. Dans ce cas, l'adaptation morphologique va se situer au niveau de l'appareil buccal, transformé en appareil piqueur-suceur. L'environnement est représenté par le milieu extérieur, ils ne bénéficient pas de la protection offerte par l'hôte, en revanche, ils ne sont pas soumis au système immunitaire. La plupart ayant un mode de vie non fixé, ils doivent activement rechercher leur nourriture, mais vivent le plus souvent à proximité de leur hôte, bénéficiant de ses déplacements pour étendre leur territoire.

Toutes ces caractéristiques constituent autant de pressions de sélection qui ont modelé

les traits biologiques des parasites. L'extrême adaptabilité des parasites leur ont permis de déjouer nombre des moyens de lutte mis en place pour les éradiquer. Ainsi les mécanismes génétiques de résistance aux insecticides ont-ils permis aux punaises des lits de revenir en force après une longue période de silence.

1.2.3.3. Le parasitisme facteur de diversité génétique

Selon Claude Combes (1997), "l'évolution globale du vivant a certainement été influencée par le parasitisme. Ainsi à chaque fois que le parasite apporte à son hôte des gènes innovants et devient par là même un mutualiste, il peut lui faire franchir des paliers évolutifs décisifs pour la réussite évolutive des organismes. D'autres hypothèses permettent d'expliquer par le parasitisme la sexualité, parmi elles, le rôle de la sexualité comme générateur de diversité génétique, et le rôle de cette diversité comme armement de la coévolution dans les interactions durables, est certainement l'une des plus séduisantes de l'écologie moderne" (4).

1.2.4. Les relations de coopération

Les relations interspécifiques peuvent également présenter des **tonalités positives**, c'est le cas du commensalisme, du mutualisme et de la symbiose.

1.2.4.1. Le commensalisme

Dans le commensalisme, une espèce tire un **bénéfice de l'interaction** avec l'autre espèce **sans en diminuer la valeur sélective**. Le commensal va profiter de la présence de l'autre espèce pour se déplacer, se nourrir ou se protéger, cette interaction est donc bénéfique pour un partenaire, et neutre pour l'autre comme dans le cas du héron garde-bœuf qui suit les grands herbivores profitant des nuées d'insectes qu'ils font fuir.

Mais elle peut également être à l'origine de **nuisances** pour l'autre partenaire. Une nuisance étant définie comme tout facteur qui constitue un préjudice, une gêne pour la santé, le bien-être, l'environnement. C'est le cas des rats, commensaux de l'homme, et rongeurs très prolifiques. Ils sont à l'origine de nombreux dégâts matériels, leurs dents poussant en permanence, ils doivent perpétuellement ronger pour les user ; et de problèmes sanitaires du fait des maladies qu'ils transportent : leptospirose, peste, typhus murin, sodoku et trichinose (8).

Les commensaux de l'homme sont également des **synanthropes**.

Le commensalisme peut revêtir bien des aspects, les blattes, qui font l'objet de cette

thèse sont des commensaux de l'homme et de bien d'autres espèces. À côté des nuisances dont elles sont responsables et sur lesquelles nous reviendrons dans la partie les concernant (voir 2.3), les **blattes** par leur activité jouent un rôle primordial dans l'écosystème. Présentes dans pratiquement tous les milieux, forêts tropicales et tempérées, steppes, marais salants, zones côtières et déserts, elles sont actives à tous les niveaux depuis la canopée jusqu'aux profondeurs du sol. Véritables éboueurs de la nature, elles vont s'attaquer à toutes les matières en décomposition, feuilles mortes, déjections, bois en putréfaction, rien ne leur échappe. Elles participent activement au recyclage de la matière, en favorisant l'action des microorganismes responsables de la décomposition du sol (saprophytes), et donc le compostage : d'une part en rompant les liaisons celluliques qui deviennent accessibles aux décomposeurs ; d'autre part, en transportant ces décomposeurs lors de leur déplacement, leur permettant ainsi de se retrouver dans des zones auxquelles ils n'auraient pu accéder autrement (7). Leur participation à la fertilisation et à l'aération des sols est indéniable et peut nous amener à les considérer comme de véritables **ingénieurs de l'écosystème**.

Les ingénieurs de l'écosystème sont des espèces qui, directement ou indirectement, modulent la disponibilité des ressources pour d'autres espèces, en modifiant les conditions biotiques ou abiotiques de leur environnement (4).

1.2.4.2. Le mutualisme

On va parler de mutualisme lorsque l'association entre deux espèces présente des **avantages pour chacune d'elle**, sans que cette association soit obligatoire.

Ainsi, les cafards retrouvés dans les nids d'oiseaux, les terriers d'animaux et les colonies d'insectes sociaux assainissent les lieux en les débarrassant des déjections dont ils se nourrissent.

Les plantes et leurs pollinisateurs constituent également des exemples d'interactions à bénéfices réciproques. Le nectar des fleurs apporte aux pollinisateurs non seulement des sucres (sucrose, fructose, glucose) mais également des acides aminés. Le coût pour la plante est compensé par le bénéfice décisif assuré par la pollinisation croisée apportée par l'insecte ou l'oiseau. C'est le cas d'un certain nombre d'espèces de blattes qui vont se nourrir du nectar de certaines plantes et sur lesquelles on a pu retrouver, des grains de pollens au niveau des tarse et des pièces buccales. Certaines seraient mêmes les principaux pollinisateurs, particulièrement dans les forêts tropicales, et dans les hauteurs de la canopée, où les abeilles s'aventurent peu. *Paratropes bilunata*, serait le principal pollinisateur, sinon le seul, de *Dendropanax arboreus*, Araliacée de la canopée de la forêt tropicale du Costa Rica. Il est capable de voler jusqu'à 30m au dessus du sol, ignorant les autres fleurs sur son passage (7).



Figure 4 : *Paratropes bilunata*

(Source : Harmony Museum, ©OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY 2010, <http://www.museum.osakafu-u.ac.jp/>)

Dans la forêt tropicale de l'île de Bornéo, la déhiscence des anthères d'*Uvaria elmeri*, (Ammonacée), se produit au moment de la visite nocturne des blattes, mettant ici en évidence, de façon indéniable, leur rôle de pollinisateur principal (7).

Un autre exemple de mutualisme est le cas des poissons nettoyeurs. Le labre nettoyeur opère sur un territoire déterminé, les poissons "clients", viennent se poster en position verticale, et ce dernier se met au travail en gobant les parasites fixés sur leur peau. Tout le monde est gagnant, le labre qui se nourrit, et le poisson "client" qui est débarrassé de ses parasites.

1.2.4.3. La symbiose

Dans la symbiose, l'**association entre les deux organismes est obligatoire** pour au moins l'un des deux partenaires.

La symbiose est extrêmement fréquente dans le monde animal. Un exemple de symbiose réussie est la cellule eucaryote, les mitochondries et les chloroplastes qui la composent possèdent tous les atouts d'un organisme vivant : ils sont délimités par deux membranes, possèdent leur propre ADN et se multiplient par division binaire comme de véritables cellules. Les mitochondries sont le fruit de l'endosymbiose d'une α -protéobactérie, les chloroplastes d'une cyanobactérie.

Si la blatte est capable d'avoir une alimentation aussi variée, c'est que les organismes symbiotiques qui occupent ses voies intestinales sont extrêmement variés et bien organisés.

La pratique de la coprophagie leur permet d'acquérir les microorganismes présents dans les matières fécales ingérées. Ces derniers vont venir renforcer et diversifier leur flore. La flore intestinale de la blatte est ainsi capable de s'adapter en fonction des aliments consommés. En effet, la consommation de matière en décomposition implique la présence de bactéries, champignons, capables de dégrader les liaisons complexes et de libérer des nutriments assimilables par la blatte. Les blattes se nourrissent des déjections de leurs congénères, et ce quel que soit leur stade de développement, mais les premières nymphes en sont plus friandes que leurs aînés. L'ingestion répétée des excréments est de règle afin de pouvoir développer un riche système digestif. Nous avons ici un exemple de **symbiotes à transmission horizontale**.

Les blattes possèdent également des endosymbiotes, les bactéroïdes. Ce sont des bactéries gram négatif qui vivent dans des cellules spécialisées au niveau du corps gras des cafards, les bactériocytes ou mycétocytes. Chaque endosymbiote est individualisé dans une vacuole cytoplasmique. Ils sont transmis par voie trans-ovarienne par la mère, c'est un mode de **transmission verticale des symbiotes**. La relation symbiotique semble reposer sur la capacité des bactéroïdes à recycler les déchets azotés en molécules utilisables par leur hôte. L'acide urique n'est pas éliminé même quand il est abondant, il est déposé en cercles concentriques autour d'une matrice centrale dans des cellules de stockage adjacentes aux bactéroïdes. Quand l'alimentation est déficiente en azote, ou que les besoins se trouvent augmentés, les stocks d'urates vont être mobilisés par les bactéroïdes afin qu'ils puissent être utilisés par l'hôte, jusqu'à déplétion des stocks si nécessaire. Une alimentation extrêmement riche en dérivés azotés n'entraîne jamais l'excrétion d'acide urique, même si cela conduit à la mort du cafard, à quelques exceptions près. Cette capacité des cafards à stocker les dérivés azotés les rend très indépendants des ressources disponibles ce qui explique leur capacité à survivre à de très longues périodes de jeûne. Les urates stockés ne sont pas uniquement recyclés pour l'usage personnel de l'hôte, ils peuvent également servir d'offrandes lors de l'accouplement et peuvent être considérés comme une stratégie de reproduction (9).

Les **relations interspécifiques** sont indispensables à la vie de nombreux organismes. Elles sont également un **moteur de l'évolution**, les organismes en présence évoluant conjointement, et un **moteur de biodiversité**.

1.3. Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes

1.3.1. Définition de la biodiversité

La **biodiversité** ou **diversité biologique** est la variabilité des êtres vivants. Elle comprend la diversité au sein des espèces et entre espèces, et la diversité des écosystèmes **(3)**. La notion de biodiversité se retrouve donc à plusieurs échelles, à l'échelle moléculaire (**diversité génétique**), à l'échelle des espèces (**diversité spécifique**) et à l'échelle des **écosystèmes**. Dans le cadre du fonctionnement des écosystèmes, c'est principalement la diversité des espèces qui est concernée.

La **diversité spécifique** comprend plusieurs composantes :

- la richesse spécifique (nombre d'espèces).
- l'abondance relative des espèces.
- le nombre de groupes fonctionnels, un groupe fonctionnel étant un groupe d'espèces qui partagent des traits similaires pour une fonction donnée de l'écosystème c'est à dire qui occupent la même niche écologique.

1.3.2. Fonctionnement d'un écosystème

Le fonctionnement d'un écosystème est traditionnellement défini comme l'ensemble des processus liés aux flux de matière et d'énergie dans cet écosystème : apports, transferts (production, recyclage), pertes de matière et d'énergie.

Pour bien comprendre cette définition, il convient de revenir sur les **caractéristiques générales des écosystèmes**. Un écosystème est défini par :

- son **cadre physico-chimique** : abondance des précipitations, richesse du sol en éléments assimilables, température, intensité lumineuse...

- sa **structure spatiale** : c'est une structure hétérogène définissable horizontalement et verticalement. C'est aussi une structure qui varie en fonction du temps.

- sa **structure trophique** : le premier compartiment trophique de tout écosystème est composé par les organismes autotrophes qui sont alimentés en énergie par le soleil. Ce sont les producteurs primaires sur lesquels tout écosystème repose. La matière organique vivante ainsi produite est source d'énergie pour des herbivores ou phytophages qui sont des consommateurs primaires et qui représentent le deuxième niveau trophique. Ils peuvent être considérés comme des producteurs secondaires et sont la proie des consommateurs secondaires, prédateurs et parasites, eux-mêmes sources de nourriture pour les consommateurs tertiaires.... Cette chaîne trophique n'est cependant pas illimitée, en effet, à chaque transfert il existe des pertes d'énergie importantes. Il ne faut pas omettre les organismes décomposeurs sans lesquels le recyclage de la matière serait impossible. Source de matière organique, ils sont la proie de consommateurs secondaires...

- sa productivité, sa diversité, sa stabilité et sa résilience. La caractéristique fondamentale d'un écosystème est la **productivité** qui en définitive va dépendre de la quantité d'énergie

captée par les producteurs primaires. La productivité est souvent mesurée en termes de production de biomasse par unité de temps (différence entre les flux entrants et les flux sortants de ce compartiment). La **diversité** de l'écosystème désigne sa **richesse spécifique**. La taille des compartiments et des flux de matière d'énergie peuvent être caractérisés par leur valeur moyenne et par leur variabilité temporelle, à ce titre on va parler de stabilité de l'écosystème. La **stabilité** d'un écosystème va se mesurer de deux façons : sa **résistance** ou capacité à se maintenir face à une perturbation ; sa **résilience** ou homéostasie qui mesure la rapidité d'un écosystème à retourner à un état d'équilibre après une perturbation.

1.3.3. Exemple du système digestif humain

Les interrelations entre espèces et écosystèmes sont difficiles à appréhender : un environnement perpétuellement soumis à des facteurs de modification et qui reste stable ; des espèces soumises sans cesse à leur environnement et à la compétition mais qui se maintiennent. Pour imaginer ce mouvement perpétuel et ces influences réciproques, l'écosystème complexe que représente le système digestif humain semble parfait.

Le **microbiote**, longtemps appelé flore intestinale, est l'ensemble des microorganismes répartis le long du tractus intestinal (**10**). Le génome du microbiote se nomme microbiome. C'est un écosystème complexe qui fonctionne comme un organe à part entière, dans lequel il existe un dialogue permanent entre les différentes espèces constituant le microbiote, et entre le microbiote et l'hôte à l'origine de l'homéostasie du système. Le microbiote est composé de plus de 3000 espèces différentes, majoritairement des bactéries (10^{14} bactéries), même si des eucaryotes, des virus et des archaea (procaryotes) peuvent être présents. Les bactéries dominantes peuvent être réparties en trois phyla bactériens majeurs : *Bacteroidetes*, *Firmicutes* et *Actinobacteria*, qui sont identifiées chez tous les individus. Il en ressort deux grandes catégories d'espèces, celles qui sont présentes chez tous les individus et celles qui sont propres à chacun d'entre nous et qui représentent l'**identité métagénomique**.

Le microbiote est essentiel pour l'homme : sa disparition ou sa modification fait disparaître ou modifie certaines fonctions physiologiques. En effet, le microbiote "normal" possède plusieurs fonctions essentielles à l'organisme :

-Interactions entre notre microbiote et le bol alimentaire :

- amélioration de l'efficacité digestive en maximisant l'extraction de l'énergie alimentaire, en permettant notamment l'hydrolyse de polysaccharides complexes qui seraient indigestes pour l'hôte.

- production de vitamines essentielles telles que la vitamine K, la vitamine B12, l'acide folique et la biotine (**11**).

- génération d'acides gras à chaînes courtes, par fermentation des sucres, qui sont des nutriments indispensables aux cellules épithéliales et qui contribuent à l'absorption du calcium et du magnésium.

- détoxification de composés nocifs.

- régulation de l'appétit et du stockage des graisses.

-Interactions entre notre microbiote et les microbes :

- protège l'hôte vis à vis des invasions par des bactéries pathogènes en induisant la sécrétion de substances bactéricides.

- renforce la barrière épithéliale intestinale par un effet de masse, leur présence limite l'implantation de bactéries pathogènes.

-Interactions entre notre microbiote et nos cellules :

- contribution au développement des organes et à la différenciation cellulaire épithéliale. Les bactéries sont en effet capables d'induire ou de réprimer l'expression de gènes de l'hôte qui participent à d'importantes fonctions physiologiques.

- stimulation du système immunitaire

- stimulation des défenses passives

- interactions avec le système nerveux central.

Cette symbiose est mutuellement bénéfique, les microorganismes résidents se retrouvent dans un environnement protégé et riche en éléments nutritifs, et est le fruit de processus évolutifs complexes. Les mécanismes qui ont permis à l'organisme humain la tolérance d'un grand nombre de bactéries au niveau luminal sont:

- la présence de mucus qui protège les cellules épithéliales des bactéries.

- de nombreuses adaptations du système immunitaire.

La flore microbienne et sa biodiversité jouent un rôle important dans l'homéostasie immunitaire de l'intestin, les antigènes des microorganismes résidents déclenchant la sécrétion de cytokines non inflammatoires. Les maladies inflammatoires intestinales telles que la maladie de Crohn, seraient liées entre autre à un dysfonctionnement de ce système, notamment par la disparition ou la diminution d'une espèce particulière *Faecalibacterium prausnitzii* qui possède des propriétés anti-inflammatoires.

Le microbiome va donc directement influencer sur l'expression du système immunitaire de l'hôte.

Cet exemple illustre bien à quel point les interactions entre les espèces et l'écosystème sont complexes. L'importance du **microbiote** et de sa **biodiversité** dans la **protection** contre les pathogènes n'est plus à démontrer et laisse entrevoir dans quelle mesure la biodiversité peut être essentielle pour limiter l'impact d'espèces invasives. Le maintien de la

population microbienne au prix d'**adaptations** importantes, pour l'organisme humain qui les transporte, mais également pour la population elle-même qui doit sans cesse s'adapter à l'environnement perpétuellement changeant que représente notre tube digestif, rappelle que nous vivons dans un monde en constante évolution, et que pour survivre, les espèces doivent s'adapter.

1.4. Écologie des espèces invasives

1.4.1. Définition du concept d'invasion biologique (12)

Les espèces invasives peuvent être définies comme des espèces exotiques, introduites volontairement ou non, qui vont s'étendre de leur point d'introduction, situé en dehors de leur aire de répartition, et **exploser démographiquement**. Il est important de souligner qu'en écologie les espèces endémiques qui vont se mettre à proliférer à la faveur d'activités humaines sont considérées comme des espèces invasives. Les espèces invasives introduites ou autochtones présentent des traits biologiques caractéristiques similaires qui diffèrent de ceux des espèces non envahissantes. De par leur impact sur la biodiversité, les invasions biologiques sont de plus en plus considérées comme l'une des composantes du changement global.

Toutes ces espèces répondent à une caractéristique commune: leur dynamique. Le processus d'invasion est ainsi souvent divisé en quatre phases :

- l'**introduction** sous influence anthropique (liée à l'activité humaine) qui peut être soit volontaire, comme les lapins ramenés par un anglais en Australie en 1859 ; soit involontaire, comme *Blatta orientalis*, ramenée d'Asie à la fin du seizième siècle, par les bateaux transportant des épices. La patrie d'origine définit une grande partie du potentiel d'adaptation d'une espèce vis-à-vis de sa patrie d'accueil.

- la **colonisation** ou **phase d'établissement**, durant laquelle l'espèce va se trouver de façon occasionnelle que ce soit dans le milieu naturel ou anthropisé.

- le **développement** ou **phase de naturalisation** qui aboutit à la formation de populations viables de l'espèce dans son nouvel environnement. Le développement peut s'accompagner d'un réajustement génétique. On peut alors parler d'invasion au sens strict du terme.

- la **phase d'extension** ou **de prolifération** l'espèce envahissante est capable d'occuper d'autres communautés et peut même migrer vers d'autres types d'écosystèmes avec les **impacts écologiques** et éventuellement **socio-économiques** liés à cette colonisation de nouvelles aires.

Il peut s'écouler un temps très long, parfois des dizaines d'années, entre l'introduction d'une espèce et l'explosion démographique qui lui confère son caractère d'invasive. C'est le cas par exemple de la coccinelle asiatique, *Harmonia axyridis*, utilisée dès 1916 en Amérique du Nord et à partir de 1990 en Amérique du Sud et en Europe en agriculture biologique. Elle devait être réintroduite chaque année ne semblant pas s'acclimater. Tout change en 1988 en Amérique du Nord et en 2004 en Europe, où sont constatés les premiers foyers d'invasion. De statut d'espèce utile, elle est passée à celui d'espèce invasive, génératrice de dégâts écologiques (diminution des populations de coccinelles autochtones, les larves de coccinelles asiatiques très voraces n'hésitant pas à dévorer les autres), économiques et sociaux (elles se réfugient par milliers dans les domiciles en hiver où elles génèrent des sécrétions nauséabondes).

1.4.2. Facteurs déterminant la capacité invasive d'une espèce (3, 12)

La probabilité pour qu'une espèce devienne invasive dépend des caractéristiques de l'espèce et des caractéristiques de l'écosystème

Les **caractéristiques de l'espèce invasive** sont :

- une reproduction efficace ou **capacité à proliférer** : taux de reproduction sexuée et asexuée élevé, capacité de dissémination (taux de dispersion), capacité à se multiplier à partir d'une faible densité de population ;

- une grande faculté d'adaptation aux conditions environnementales ou **potentiel adaptatif élevé** : tolérance vis à vis des facteurs environnementaux : amplitude écologique, variabilité génétique ;

- une grande **capacité d'exploitation** des ressources : faible spécialisation, taux de croissance élevé, efficacité de consommation, compétitivité.

La **vulnérabilité de l'écosystème d'accueil** dépend de ses caractéristiques écologiques, associées aux caractéristiques de l'espèce introduite :

- **niche écologique vacante**, l'espèce introduite va exploiter des ressources non utilisées par les espèces présentes ;

- **perturbations climatiques, écologiques et anthropiques**, avant ou après l'introduction de l'espèce (meilleure tolérance aux perturbations de l'espèce introduite). Les milieux pollués favorisent les espèces invasives ;

- **diversité spécifique et diversité fonctionnelle** de la communauté : la vulnérabilité à l'invasion par des espèces exotiques est fortement influencée par la composition en espèces et décroît généralement avec la richesse spécifique c'est à dire la biodiversité ;

- interactions interspécifiques avec les espèces natives : **compétition interspécifique** qui aboutit soit à l'exclusion de l'espèce native, soit à la cohabitation des deux espèces avec partage de la niche écologique ;

- absence de **contraintes biologiques** pour l'espèce introduite : absence d'ennemis naturels ou de parasites.

Il faut ajouter à cela que les milieux à fortes **densités de populations humaines** et à fort **taux d'activité anthropique** ainsi que le **réchauffement climatique** favorisent les invasions biologiques.

Ainsi pour en revenir à nos deux exemples cités plus haut, les lapins introduits en Australie qui se sont échappés de leur enclos à l'occasion d'un incendie se sont retrouvés dans un milieu favorable à leur établissement et n'ayant pas d'ennemis naturels sur place, ils ont pu proliférer à leur aise, recouvrant en à peine quelques années les deux tiers du continent.

Les cafards quant à eux ont été décrits pour la première fois en Angleterre à la fin du seizième siècle. Ce fut dans un premier temps *Blatta orientalis* qui envahit les foyers. À l'époque, ceux-ci étaient occupés par le cricket des maisons (**13**), qui occupe la même niche écologique que les blattes. Si au départ, les deux espèces ont cohabité, petit à petit, *Blatta orientalis*, bien plus compétitive que le cricket, a exclu ce dernier. *Blattella germanica*, arrivée plus tardivement sur le territoire, était moins retrouvée que *Blatta orientalis*, un article datant de 1914 se moquait ouvertement de cette espèce en la décrivant comme incapable d'apprendre de ses erreurs et que sa prière devrait être "*Oh lord! give us understanding*" ("Oh seigneur! permet nous de comprendre") (**14**). L'auteur serait fort surpris d'apprendre que *Blattella germanica* a désormais supplanté *Blatta orientalis*, et se retrouve en première ligne dans les invasions liées aux blattes. Ces deux exemples mettent en évidence l'importance pour une espèce invasive d'avoir à la fois une bonne stratégie colonisatrice (accroissement rapide de la population dans le nouvel habitat), mais également une bonne stratégie compétitrice (espèces mieux adaptées à la compétition dans un habitat saturé).

1.4.3. Impacts des espèces invasives

Les invasions biologiques ont de multiples conséquences :

- **conséquences écologiques** : les espèces introduites sont considérées comme l'une des causes majeures du déclin de la **biodiversité** au niveau mondial. Particulièrement dans les îles océaniques où elles sont perçues comme le premier facteur d'**extinction d'espèces** et de **transformation des écosystèmes** (**12**). Aux États-Unis jusqu'à 40% des espèces autochtones pourraient disparaître.

De même, les lapins introduits en Australie sont à l'origine de la destruction de nombreux biotopes et de l'extension de l'érosion des terres par élimination de la végétation, ainsi que de l'extinction de certains marsupiaux comme les bandicoots.

La grenouille taureau, gros amphibien venu de Floride, fut introduite en Gironde en 1968 à des fins ornementales. Des individus ont réussi à s'échapper, et depuis elles ont envahi toute l'Aquitaine. Espèce très vorace, elle se nourrit à 50% d'amphibiens, d'insectes, de petits mammifères. Elle se reproduit beaucoup plus vite que les espèces autochtones et est

capable de parcourir de grandes distances. Elle est de plus porteuse saine d'un champignon pathogène qu'elle transmet aux autres amphibiens. Voilà comment une espèce rapportée pour décorer un bassin menace aujourd'hui toutes les populations locales de batraciens, déjà bien mises à mal par la pollution et la destruction des habitats humides. De plus privés de leurs prédateurs naturels, les batraciens, les moustiques prolifèrent librement.

- **conséquences évolutives** : le contact entre espèces introduites et espèces natives peut avoir des conséquences évolutives directes : adaptation des espèces introduites et des espèces natives, hybridation, spéciation (processus évolutif par lequel de nouvelles espèces apparaissent).

- **conséquences économiques** : Les invasions biologiques peuvent être la cause d'importantes pertes économiques par leur impact sur la productivité, sur la santé humaine et animale. Ainsi les lapins introduits en Australie ont dévoré les prairies, mais également les récoltes et les pâturages et furent à l'origine d'une véritable crise agricole. En Australie, les lapins représentent une perte annuelle de 500 millions de dollars pour l'agriculture **(15)**. Aux États-Unis le coût des dommages et des mesures de contrôle avoisinerait les 128 milliards de dollars américains par an **(12)**.

- **conséquences sanitaires et sociales** : elles peuvent être directes ou indirectes : introduction d'espèces pathogènes (parasites, bactéries...), introduction d'espèces à l'origine d'allergies (les blattes, les pollens allergisants : Ambroisie...), introduction d'espèces hôtes de pathogènes (Anophèle, *Aedes*...). À côté de l'impact important sur la santé humaine, il ne faut pas négliger l'impact potentiel sur les autres espèces.

1.4.4. Méthodes de lutte contre les espèces invasives

Quatre options majeures sont prévues pour maîtriser les espèces étrangères : la **prévention**, la **détection précoce**, l'**éradication** et le **contrôle**.

1.4.4.1. Prévention

L'option la plus rentable est celle qui vise à prévenir les introductions. La majorité des introductions résultent directement ou indirectement des échanges commerciaux, il est donc nécessaire d'intensifier les contrôles et inspections aux frontières, parallèlement à la mise en place d'une procédure d'évaluation visant à déterminer l'acceptabilité de l'importation de nouvelles marchandises.

Les trois principaux modes de prévention sont **(16)** :

- une interception fondée sur la réglementation et sanctionnée par des inspections et des amendes,

- le traitement du matériel soupçonné d'être contaminé par des espèces non-indigènes,
- l'interdiction d'importer certains articles, conformément à la réglementation internationale. L'importation délibérée d'espèces non-indigènes devrait être soumise à une évaluation des risques liés à leur importation.

Il faut ajouter à cela le **maintien de la biodiversité** et de l'état **d'équilibre des écosystèmes**.

1.4.4.2. La détection précoce

La détection précoce est souvent **cruciale** car elle permet de déterminer si l'éradication est encore faisable ou pas. Cette détection précoce est assurée par la mise en place de **systèmes de surveillance** sur des espèces ou sur des sites précis. La surveillance d'espèces particulières doit prendre en considération les caractéristiques écologiques des espèces-cibles. La surveillance de sites spécifiques se fait soit dans des points d'entrée à haut risque, soit dans des espaces de grande valeur pour la biodiversité.

1.4.4.3. L'éradication

Lorsque la prévention échoue, il faut envisager l'éradication. Elle peut être réussie et peu coûteuse si elle se fait précocement. Il est recommandé d'analyser correctement les coûts et les chances de succès d'une telle opération et de mobiliser les ressources matérielles et humaines adéquates avant d'entreprendre quoi que ce soit. Il est extrêmement difficile de se débarrasser d'une espèce invasive et les erreurs sont fréquentes en matière de méthode. Ainsi toujours en Australie pour se débarrasser du lapin, un prédateur naturel a été introduit, le renard. C'est un nouveau désastre, le renard choisissant de s'attaquer à des proies plus faciles, comme les petits marsupiaux dont les populations étaient déjà menacées. Par la suite, le virus de la myxomatose a été introduit, en deux ans, le nombre de lapins passe de 900 millions à 100 millions Mais cette baisse n'est que de courte durée, les lapins devenant rapidement résistants au virus. En 1995, le virus de la fièvre hémorragique est "accidentellement" introduit en Australie, il tue les lapins en 24 à 48 heures, par asphyxie et arrêt cardiaque. Mais dans les zones humides, il semble être en concurrence avec un autre virus qui annihile sa virulence.

Riches des erreurs passées, les tentatives d'éradication menées aujourd'hui résultent de modes opératoires très divers combinés les uns aux autres: **contrôle mécanique**, **contrôle chimique** notamment par l'utilisation d'appâts toxiques quand cela est possible, **contrôle de l'habitat**, **chasse** dans le cas des vertébrés et **lutte biologique**. C'est la **méthode de lutte dite intégrée** sur laquelle nous reviendrons dans les parties 2.4 et 3.4.

1.4.4.4. Le contrôle

Lorsque l'éradication n'est pas réalisable, l'objectif est de réduire l'abondance et la densité en dessous d'un **seuil acceptable**. Toutes les méthodes citées ci-dessus vont pouvoir être utilisées, si ce ne sont les insecticides qui du fait de leur caractère toxique ne seront utilisés qu'en dernier recours. Nous aborderons leur cas dans le paragraphe qui suit. La méthode qui semble être ici la plus indiquée est la **lutte biologique**. Toutefois il est indispensable de soumettre les espèces candidates à des recherches préalables pour vérifier qu'elles sont parfaitement utilisables contre la cible choisie et uniquement contre cette cible.

1.5. La lutte chimique: principe et problématique (17)

1.5.1. Les insecticides

Un pesticide correspond à toute substance ou mélange de substances utilisées dans le but de détruire, repousser ou prévenir la présence d'insectes, rongeurs, nématodes, fungus ou végétation ou tout autre forme de vie considérée comme nuisible. Dans le cadre de la lutte contre les insectes, on parle d'insecticides.

Longtemps utilisés à grande échelle, les insecticides sont à l'origine d'une **toxicité** pour les organismes non ciblés et d'une **résistance** de la part des espèces cibles, qui imposent d'en limiter l'utilisation aujourd'hui. Actuellement **leur utilisation n'est pas systématique** et ne se fera qu'après un **échec des méthodes non chimiques** ou dans le cadre d'**invasions épidémiques** à risque vectoriel dans lequel un contrôle rapide de la population cible est exigé.

Quatre classes d'insecticides chimiques: les organochlorés, les organophosphorés, les carbamates et les pyréthrinoïdes, sont disponibles dans le contrôle des populations d'insectes. L'utilisation des pyréthrinoïdes, moins toxiques, dans le cadre des concentrations recommandées et en respectant les précautions liées à leur utilisation **(17)**, est favorisée, celles des organochlorés et organophosphorés les plus toxiques a diminué ces dernières années.

Les voies d'exposition sont multiples: cutanée, pulmonaire et orale.

Les organochlorés

Ce sont des insecticides de contact qui vont agir sur le système nerveux par blocage des canaux GABA. Leur spectre d'action est large. D'une toxicité relativement faible pour l'homme dans les conditions normales d'utilisation, ils sont très stables et vont pouvoir s'accumuler tout au long de la chaîne alimentaire à des concentrations toxiques. Ils ont été interdits dans de nombreux pays. Outre leur rémanence excessive, leur usage a été freiné par l'apparition de résistance.

Les organophosphorés

Ce sont des inhibiteurs de cholinestérases, ils vont donc bloquer l'influx nerveux et entraîner la mort de l'insecte. Insecticides de contact, ils sont très toxiques pour l'homme et les animaux à sang chaud. Ils possèdent une toxicité aiguë élevée mais une faible rémanence, ce qui impose une répétition des traitements.

Les carbamates

Ce sont également des inhibiteurs de cholinestérases. Ils agissent le plus souvent par contact, mais certains ont une action systémique. Leur rémanence est généralement faible, bien que certains puissent avoir une grande rémanence.

Les pyréthrinoïdes de synthèse

Ils sont dotés d'une toxicité par contact et tuent quasi instantanément l'insecte par blocage des canaux sodiques indispensables à l'influx nerveux de l'insecte. Réputés peu toxiques pour l'homme, ils sont cependant très toxiques pour les organismes aquatiques. Ils ont une faible persistance en milieu terrestre.

Les inhibiteurs de croissance de l'insecte

Ils ont été largement utilisés ces dernières années. Ils ne sont pas toxiques pour l'homme ni pour les animaux à sang chaud. Ils présentent l'inconvénient d'avoir un délai d'action assez long.

Ils sont divisés en analogues de l'hormone juvénile et inhibiteurs de la synthèse de chitine. Des phénomènes de résistance à leur égard ont déjà été identifiés.

1.5.2. Problème de la résistance aux insecticides

La résistance aux insecticides peut être définie comme "une **modification héréditaire** dans la **sensibilité** d'une population d'organismes nuisibles, se traduisant par l'échec d'un produit pour atteindre le niveau escompté de contrôle, lorsque le produit est utilisé conformément aux recommandations requises pour cette espèce nuisible" (18). L'utilisation d'insecticides en tant que telle, ne crée pas de résistance. Cependant, celle-ci peut se développer à cause d'une utilisation abusive ou inadaptée. Les espèces invasives sont des espèces à haut pouvoir d'adaptation, elles évoluent très vite et continuellement pour maintenir leur place dans leur environnement biologique. Il n'est donc pas étonnant que les espèces invasives aient rapidement développé des résistances vis à vis des insecticides. La résistance va progresser lorsque la variation génétique qui survient naturellement permet à une faible proportion de la population de résister et de survivre transmettant la résistance à leurs descendants.

Les principaux facteurs qui influencent le **développement de la résistance** sont :

- la fréquence d'application de l'insecticide
- la dose
- la pérennité de l'effet
- le taux de reproduction de l'espèce.

La **gestion de la résistance** s'appuie :

- avant tout par l'utilisation de méthodes de lutte non chimique.
- l'utilisation d'insecticides sera limitée aux zones à fort potentiel vectoriel de maladies.
- la favorisation des insecticides tuant préférentiellement les formes adultes femelles plutôt que des larvicides qui touchent les deux sexes.
- la favorisation de l'utilisation de mélanges d'insecticides possédant des mécanismes d'action différents, il est en effet peu probable qu'un insecte soit résistant à deux insecticides à la fois. Ils devront être utilisés aux doses recommandées, afin d'éviter l'exposition à de trop faibles doses, qui favorise l'apparition de résistance.
- l'opération d'une rotation des insecticides, moins un insecticide est appliqué, moins il y a de chances de voir se développer une résistance.

Un parallèle peut être fait avec les résistances des bactéries aux antibiotiques, apparus pendant la deuxième guerre mondiale, les pénicillines étaient alors considérées comme des "médicaments miraculeux" permettant de guérir en quelques semaines des infections potentiellement mortelles. Elles sont encore utilisées de nos jours, mais de nombreuses bactéries y sont résistantes, en ville comme à l'hôpital. Il n'est pas rare de devoir recourir à deux voire trois antibiotiques.

1.5.3. Toxicité des insecticides

1.5.3.1. Toxicité aiguë: les symptômes d'empoisonnement

La toxicité aiguë va plus souvent toucher les professionnels, plus rarement les particuliers. Chez les professionnels le contact cutané constitue généralement la principale voie d'exposition aux pesticides, elle est responsable de la plupart des intoxications involontaires.

L'exposition par les voies respiratoires constitue la voie d'intoxication la plus rapide et la plus directe. Les pesticides appliqués sous forme d'aérosols, de brouillard ou de gaz peuvent facilement être inhalés.

Les pesticides peuvent également être absorbés par voie orale, principalement par contact des mains contaminées avec la bouche.

Les signes et symptômes d'intoxication aux **organophosphorés** sont ceux d'une excitation du système nerveux. Dans un premier temps, la victime va se plaindre de maux

de tête et de vertiges et peut sembler inquiète ou excitée. Par la suite, des vomissements surviendront ainsi qu'une faiblesse musculaire au niveau des bras et des jambes, avec un tremblement des mains. Elle peut se montrer désorientée spatialement et temporellement, un arrêt cardiaque peut survenir. Une neuropathie retardée peut faire suite à une intoxication aiguë très importante.

Après une exposition aux **organochlorés** et aux **carbamates**, les symptômes vont être similaires à ceux décrits pour les organophosphorés mais vont apparaître moins rapidement. Les symptômes incluent les syndromes cholinergiques : transpiration, maux de tête, vision trouble, contraction des pupilles, faiblesse musculaire, vertiges, nausées, vomissements, hyper-salivation, hypersécrétion bronchique, douleurs stomacales, contractions musculaires, diarrhées, pertes du contrôle des sphincters, convulsion et coma.

Les symptômes d'intoxication aux **pyréthrinoïdes** vont inclure une paresthésie (trouble de la sensibilité tactile) particulièrement au niveau du visage et des mains, une irritation du tractus respiratoire supérieur, une hypersialorrhée et parfois, des réactions allergiques. S'ils sont ingérés, des nausées et vomissements avec douleur stomacale peuvent survenir. Dans le cas d'un empoisonnement sévère, le patient peut tomber dans le coma. La mort peut survenir suite à une paralysie du système respiratoire.

Des intoxications aiguës répétées peuvent conduire à une intoxication chronique.

1.5.3.2. Toxicité chronique

Elle survient à la suite de l'absorption répétée pendant plusieurs jours, plusieurs mois voire plusieurs années, de faibles doses de pesticides qui peuvent s'accumuler dans l'organisme. Les pesticides utilisés pour traiter les aliments que nous mangeons se concentrent dans les fruits et légumes. Ils peuvent également étant donné leur rémanence dans l'environnement se retrouver dans l'eau, les poissons, la viande. Ainsi chaque année nous absorbons une quantité inconnue de pesticides.

Bien qu'ils soient utilisés à grande échelle depuis longtemps, peu d'études ont été réalisées concernant leur toxicité chronique, notamment celle liée à notre alimentation.

Les principaux signes d'une intoxication chronique sont :

- fatigue
- fréquents maux de tête
- manque d'appétit
- perte de poids

1.5.3.2.1. Cancer

Des compilations d'études épidémiologiques ont montré que l'exposition chronique professionnelle aux pesticides entraîne une augmentation du risque de développer un cancer hématopoïétique **(19)**. Des associations positives ont été rapportées pour le lymphome non hodgkinien, la leucémie, les sarcomes, le myélome multiple, le cancer du cerveau, le cancer de la prostate et le lymphome de Hodgkin. Des possibilités d'associations ont aussi été faites avec le cancer du sein, du poumon, du pancréas, de la vessie, des testicules et de l'estomac. Le risque de leucémie chez l'enfant est fortement augmenté lors d'une exposition maternelle en période prénatale. Plusieurs pesticides ont été classés comme cancérigènes possibles ou probables par le Centre International de Recherche Contre le Cancer (CIRC) **(20)**.

1.5.3.2.2. Effets sur le système immunitaire

Certaines études récentes indiquent la probabilité d'une relation entre les pesticides et l'augmentation du risque de maladies infectieuses. Une chute des anticorps et l'apparition d'une hypersensibilité retardée pourraient être liées à ces produits.

1.5.3.2.3. Effets neurologiques

Les symptômes chroniques les plus souvent observés sont la dépression, les difficultés d'élocution, la perte de concentration et une diminution de l'efficacité cognitive. La maladie de Parkinson a été reconnue comme maladie professionnelle agricole, par décret au Journal Officiel (Journal Officiel n°0107 du 6 mai 2012 page 8149, décret n° 2012-665 du 4 mai 2012).

1.5.3.2.4. Effets sur la reproduction et le développement

Les effets possibles sur la grossesse et le développement de l'enfant sont l'avortement spontané, des malformations congénitales, des anomalies du développement neuronal et la prématurité. Au niveau de la reproduction, il y a diminution de la fertilité féminine et masculine (diminution du développement et de la mobilité des spermatozoïdes) pouvant aller jusqu'à l'infertilité et une baisse de la libido.

1.5.3.2.5. Effets dermatologiques

Apparition de dermatites de contact, irritative ou allergique, avec démangeaisons, rougeurs et lésions cutanées.

1.5.3.3. Toxicité vis à vis des écosystèmes

Les insecticides ne sont **pas sélectifs**, et vont nuire à toutes les espèces sensibles à leur action. Parmi ces espèces, il peut se trouver des prédateurs de l'espèce visée. Pour reprendre le modèle du système digestif, utiliser des insecticides, c'est un peu comme utiliser des antibiotiques. Ceux-ci vont aider à lutter contre les bactéries pathogènes, mais vont également nuire à la flore microbienne indispensable. Cette destruction du microbiote va être à l'origine de perturbations intestinales, diarrhées principalement, mais peut également permettre à des bactéries nocives de proliférer. C'est le cas de *Clostridium difficile* retrouvé dans 10 à 25% des diarrhées simples post-antibiotiques, et dans 95% des colites pseudomembraneuses (21).

Du fait de leur non sélectivité, l'utilisation des insecticides est à éviter absolument, en effet, ils vont **nuire** à la **biodiversité**, et par là même **favoriser l'implantation d'espèces invasives**.

C'est le cas par exemple des *Aedes*, la niche écologique vide laissée par les moustiques résidents décimés par les insecticides, leur laisse la possibilité de s'installer.

Les insecticides pouvant rester longtemps dans l'environnement, ils vont pouvoir contaminer les eaux, la terre. Contaminant les producteurs primaires, ils vont également pouvoir s'accumuler dans les prédateurs en bout de chaîne.

Nous allons maintenant étudier le cas de *Blattella germanica* et les modalités de la lutte intégrée.

2. Les blattes : *Blattella germanica*

2.1. Généralités

Dans les mentalités collectives, le cafard renvoie immédiatement à l'image de cet insecte rampant la nuit dans les cuisines et qui inspire le dégoût. Répugnance illustrée dans la "Métamorphose" de Kafka (1915), où un jeune homme se réveille transformé en vermine, en cafard selon certains traducteurs et est alors complètement rejeté par sa famille. Il faut savoir que les cafards encore appelés blattes ou cancrelats comptent plus de 4330 espèces (22), et que seulement 0.5% d'entre elles sont considérées comme nuisibles (7). On retrouve des traces d'insectes au corps aplati dès le carbonifère (période s'étalant approximativement de -360 à -290 millions d'années), qui porte le surnom d'ère des cafards mais ces ancêtres auraient donné naissance à plusieurs taxons, l'apparition des cafards se situerait plutôt pendant le crétacé (-145 à -65 millions d'année). Les cafards ont investi tous les milieux même si on les trouve préférentiellement en milieu tropical où ils représentent 24% des arthropodes de la canopée (23). Ce sont des insectes détritivores pour la plupart, ils se nourrissent de déchets de feuilles, de bois mort, d'animaux morts, ils sont en quelques sortes les éboueurs de la nature. Leurs modes de vie sont très variés, ils peuvent en effet être grégaires (groupes d'individus de la même espèce rassemblés dans le même endroit mais non organisés ni engagés dans des comportements de coopération), subsociaux (les adultes prennent soins de leurs jeunes pendant une certaine période de temps) ou solitaires, en font un objet d'étude très intéressant pour les évolutionnistes. Leur classification est complexe et est encore actualisée régulièrement. Ils sont extrêmement résistants et sont capables de survivre à des taux de radiations élevés. Leur capacité de survie est très bien illustrée dans *Wall-E* (2008), film dans lequel les humains ayant dû abandonner leur planète après l'avoir transformée en véritable décharge et en avoir anéanti toute vie ou presque, Wall-E, un petit robot chargé de nettoyer la Terre, se retrouve avec pour seul ami un cafard.

2.1.1. Taxonomie

Ce sont des insectes Ptérygotes (aillés à l'état adulte), appartenant à l'infra-classe des Néoptères, (une évolution différente de l'aile antérieure et postérieure). Ils appartiennent au super-ordre des Dictyoptères qui comprend l'ordre des *Mantodea* (mantes), des *Blattaria* (blattes) et des *Isoptera* (termites), certains auteurs regroupent les *Blattaria* et les *Isoptera* dans un même groupe, les *Blattodea* (7).

L'ordre des *Blattaria* est encore discuté aujourd'hui (24,25), on retiendra la classification de Roth (2003) qui décompose l'ordre des *Blattaria* en 6 familles: *Polyphagidae*, *Cryptocercidae*, *Nocticolidae*, *Blattidae*, *Blattellidae* et *Blaberidae*, la majorité des espèces appartenant aux trois dernières familles.

2.1.2. Principales caractéristiques de l'ordre des *Blattaria* (7)

De taille très variable, de 2.7 mm pour les plus petits (*Ataphila fungicola*, Amérique centrale), et pouvant atteindre jusqu'à 90mm pour les plus gros (*Macropanesthia rhinoceros*, Australie), le cafard est facilement reconnaissable à son **corps ovale et aplati**, sa tête toujours couverte par le **pronotum** (sclérite dorsal du premier segment thoracique) développé en forme de bouclier, ses pièces buccales externes de type broyeur et ses **longues antennes** filiformes et multiarticulées. Lorsqu'elles sont ailées, les blattes adultes portent **deux paires d'ailes** indépendantes nervurées, les ailes antérieures sont sclérifiées (tegminisation) et viennent recouvrir au repos les ailes postérieures membraneuses. Leurs **longues pattes épineuses** sont munies de coxae (coxa : premier segment de la patte) larges et aplaties, qui peuvent recevoir le fémur, quand les pattes sont repliées sous le corps et qui recouvrent tous les sternites thoraciques.

Ils possèdent une paire de **cerques multiarticulés** sur le dernier sternite abdominal (segment anal). Ces cerques comme les antennes ont vocation d'organes sensoriels. Chez les mâles ce dernier segment (segment génital) porte également une paire d'accessoires copulateurs, les **styles**.

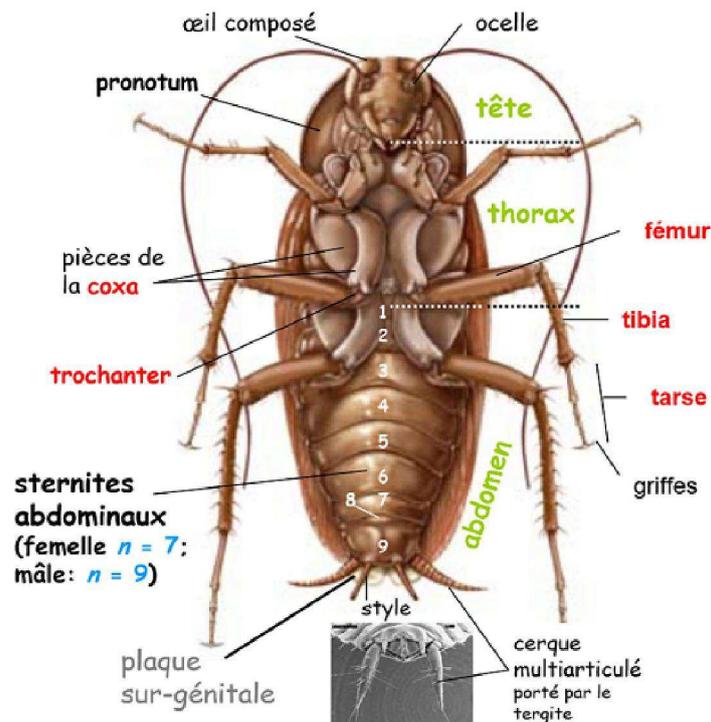


Figure 5 : Vue ventrale d'une blatte

(Source : Université de Montpellier, <http://mon.univ-montp2.fr/index.php>)

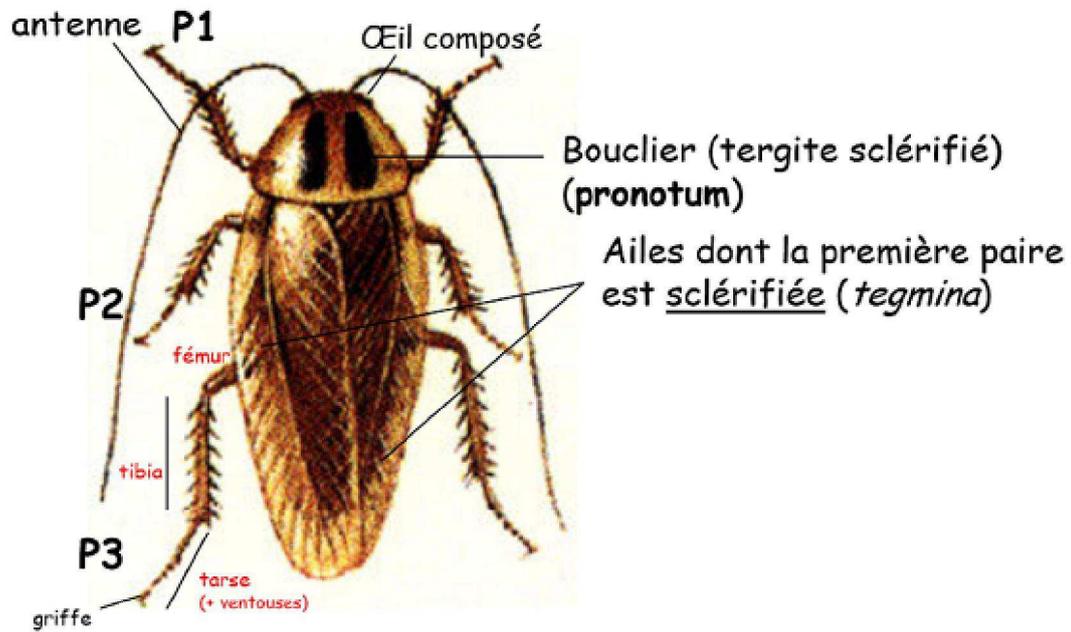


Figure 6 : Vue dorsale d'une blatte

2.1.3. Les quatre espèces invasives en France

Sur la vingtaine d'espèces de blattes que l'on trouve en France, seules quatre espèces sont dites domestiques (26). Après les avoir présentées succinctement, nous nous intéresserons de plus près à une espèce en particulier, qui représente 90% des invasions en France, *Blatella germanica*. Si elles ont élu domicile dans nos foyers, c'est parce qu'elles sont originaires de pays chauds, et qu'elles ne peuvent vivre à l'extérieur en hiver.

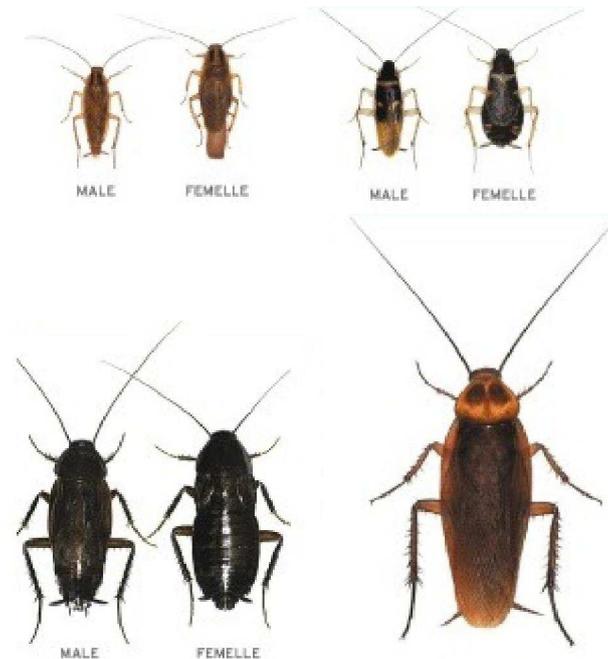


Figure 7 : les blattes domestiques en France, photos en taille réelle, avec de gauche à droite, en haut *Blatella germanica* et *Supella longipalpa*, en bas *Blatta orientalis* et *Periplaneta americana* (Source : <http://www.ecolab-pest-france.fr>)

2.1.3.1. La blatte américaine, *Periplaneta americana*

La blatte américaine est la plus grande : de 3 à 4 cm à l'âge adulte. Originnaire d'Afrique, elle est très commune dans toutes les régions tropicales. Elle vit dans des endroits chauds et humides (égouts, chaufferies, systèmes de drainage, sous-sols), et meurt dès qu'il fait trop frais. Elle se retrouve facilement dans les endroits où la nourriture est préparée et stockée : commerce, restaurants, boulangeries... Elle reste à l'extérieur tant que les conditions climatiques s'y prêtent. De couleur brun ferrugineux uniforme, avec une tache claire peu marquée sur le pronotum, les élytres et les ailes sont brun roux, un peu plus long chez le mâle que la femelle. Elle peut voler sur de courtes distances, mais se déplace surtout sur le sol et sur les surfaces rugueuses comme le bois ou les blocs de béton ; elle ne peut pas grimper aux murs ou autres surfaces lisses. Ce sont des ovipares de type A, elles déposent leur oothèque (double rangée d'œufs protégés par une paroi épaisse) en les collant dans l'angle d'un mur, d'une armoire.... C'est la plus rapide des blattes. Elle s'attaque à tous les produits comestibles, ainsi qu'à la colle des reliures de livres. On la reconnaît facilement à sa **grande taille (27)**. Elle transporte de nombreux virus, bactéries, champignons et protozoaires potentiellement pathogènes.

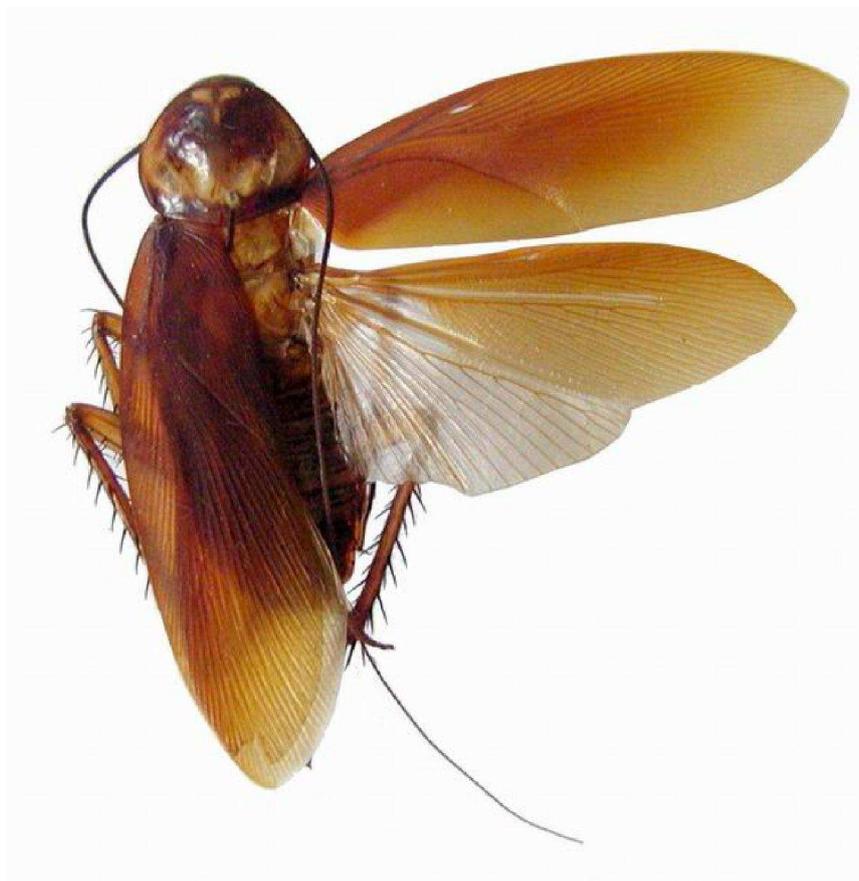
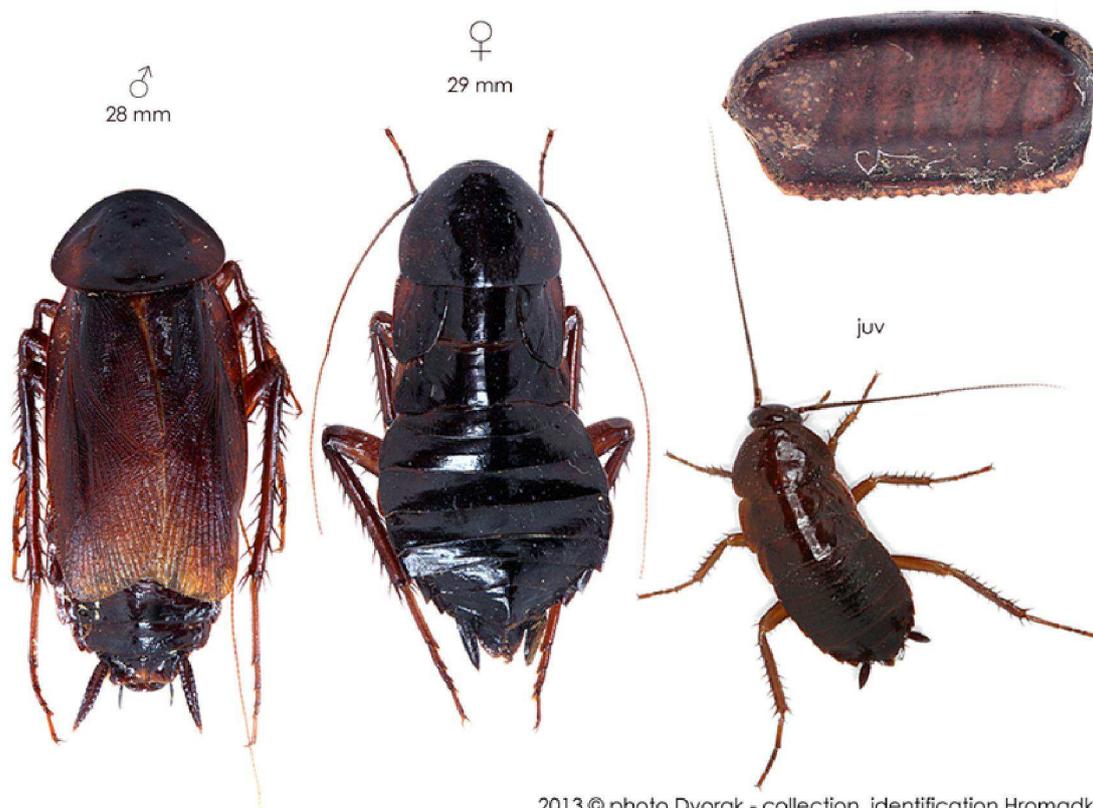


Figure 8 : *Periplaneta americana*

(Source : Biolib, ©Ondřej Zicha, <http://www.biolib.cz/en/image/id711/>)

2.1.3.2. La blatte orientale, *Blatta orientalis*

La blatte orientale mesure environ 2.5 cm à l'âge adulte. Elle est de couleur **marron foncé à noir** avec un **corps brillant**. La femelle a un corps plus large que celui du mâle, et une paire d'ailes réduites par rapport à lui. Ni l'un, ni l'autre ne sont capables de voler. Elles affectionnent les lieux humides et sombres. On les rencontre souvent à proximité des matières organiques en décomposition et dans les égouts, les canalisations, les caves, les vérandas, les vides sanitaires et les puisards. Elles restent généralement à l'extérieur, mais viennent se réfugier dans l'intérieur des maisons en cas de sécheresse. Plus l'humidité se réduit, plus elles se réfugient dans des endroits frais. Elles rentrent souvent par les bas de porte, les canalisations, les événements et les siphons d'écoulement. Elles sont moins rapides que les autres, et grimpent difficilement sur les surfaces lisses, on les retrouve souvent piégées dans les baignoires et les éviers. Elles peuvent proliférer par temps frais. Ce sont des ovipares de type A qui portent leur oothèque environ 30 heures avant de la déposer à proximité d'une source de nourriture. Elles se nourrissent de toute sorte de débris et produisent une odeur désagréable. Elles vont être à l'origine de gastroentérites (diarrhée, intoxication alimentaire, dysenterie...) (28).



2013 © photo Dvorak - collection, identification Hromadka

Figure 9 : *Blatta orientalis* à différents stades, avec de gauche à droite, une femelle adulte, un mâle adulte, en bas à droite une forme juvénile et en haut à droite une oothèque (Source : Biolib, © Josef Dvořák, <http://www.biolib.cz/en/image/id224050/>)

2.1.3.3. La blatte rayée, *Supella longipalpa*

La blatte rayée ou blatte des meubles mesure de 1 à 1.5 cm à l'âge adulte, elle est arrivée en Europe il y a seulement 20 ou 30 ans. Elle est jaune brunâtre claire ou légèrement foncée et tire son nom d'une **bande claire transversale** située à la base des ailes derrière le prothorax (pronotum ou corselet). Elle possède de très longues antennes. Le mâle est plus long mais plus mince que la femelle. La femelle a des ailes plus courtes. Le mâle est capable de voler si nécessaire. L'appellation Blatte des meubles vient du fait que la femelle va cacher son oothèque en la collant sous les meubles, derrière les tiroirs, dans les fissures des meubles. Elle préfère la nourriture sèche et requière moins d'eau que les autres blattes. Elle s'épanouit dans les appartements et les maisons où les températures sont élevées. La dernière arrivée et la mieux adaptée, elle est la seule à pouvoir marcher sur les plafonds, on va pouvoir la retrouver partout, dans les plafonds élevés, dans les appareils électroménagers, à l'intérieur des meubles, derrière les décorations de mur... Elle va être à l'origine de dégâts matériels, et peut contaminer les aliments avec les micro-organismes qu'elle transporte (29).



Figure 10 : *Supella longipalpa* : oothèque en haut à gauche, mâle adulte en haut au milieu, femelle adulte au milieu à gauche, et trois stades juvéniles (30)

(Source : ©Animal Photo Album)

2.1.3.4. La blatte germanique, *Blatella germanica*

Elle mesure de 1 à 1.6 cm de long. Sa couleur va du bronze au brun clair. On la reconnaît grâce à ses **deux bandes foncées parallèles** qui partent de la tête et se rendent à la base des ailes (sur le pronotum). Comme la plupart de ses congénères, elle vient d'Afrique de l'Ouest, et est arrivée en Europe par bateau depuis plus de deux cents ans. Après avoir envahi les ports, elle a colonisé les centres villes. Bien qu'elle ait des ailes, elle est incapable de voler. Les élytres chez les adultes sont plus longs que le corps chez la femelle

et plus courts chez le mâle. La femelle est plus large que le mâle.



Figure 11 : ©Sergey Toronto



Figure 12 : ©jareynolds

Figure 11 et 12 : détail des bandes noires caractéristiques de *Blattella germanica*
(Source : shutterstock, <http://www.shutterstock.com/fr/>)

Les traits de vie et les paramètres biologiques des quatre espèces domiciliaires sont résumés dans le **Tableau I** en annexe. Nous allons maintenant étudier en détail la biologie de *B. germanica*.

2.2. Biologie de *Blattella germanica*

2.2.1. Reproduction (7)

Les **phéromones sexuelles** générées par la femelle vont attirer le partenaire sexuel à une distance de 2 mètres, parfois plus. Ce sont les sensilles, organes sensoriels situés au niveau des **antennes** qui guident le mâle dans sa quête. Le plus souvent, c'est la femelle qui appelle le mâle en adoptant une position caractéristique, elle élève ses ailes si elle en possède, et abaisse son segment terminal de façon à exposer son vestibule génital, libérant ainsi une grande quantité d'hormones. Le mâle s'approche et commence par caresser la femelle avec ses antennes et perçoit ainsi une phéromone sexuelle contenue dans les cires cuticulaires qui recouvrent le corps de la femelle. Adoptant un comportement de **parade** il élève ses ailes à 90° découvrant les glandes tergaux qui se trouvent sur son dos. La femelle friande de ces sécrétions va monter sur le dos du mâle afin de les lécher. Les **glandes tergaux** se situent au niveau du septième et du huitième tergites. Après quelques secondes pendant lesquelles la femelle s'acharne sur les sécrétions au niveau du huitième tergite, le mâle étend légèrement son abdomen, la femelle se retrouve alors à lécher les sécrétions au niveau du septième tergite, tandis que le mâle peut engager son

pseudophallus dans les génitalia de la femelle. Une fois les organes génitaux sécurisés, le mâle avance et fait faire à la femelle un demi-tour afin qu'elle se retrouve dos à lui. Le mâle peut alors dérouler son abdomen afin qu'il retrouve sa position normale. Le **spermatophore** qui va permettre de conduire le sperme jusqu'aux **spermathèques** (organes de stockage des spermatozoïdes de la femelle) commence à se former. Le couple demeure dos à dos jusqu'à la fin de la copulation qui peut durer 2 à 3 heures. Le spermatophore qui va contenir le sperme va être déposé dans l'organe génital femelle. On ne connaît pas les mécanismes impliqués dans le déplacement du sperme jusqu'aux spermathèques.

Juste avant la séparation du couple une sécrétion blanchâtre est émise par les **glandes uricosiques** du mâle et vient recouvrir le spermatophore. On soupçonne qu'une partie de l'acide urique est absorbé par voie vaginale par la femelle, mais la majeure partie est mangée avec le spermatophore une fois celui-ci expulsé. Ce don pourrait influencer le choix de la femelle au moment de la fécondation.

Une femelle peut s'accoupler plusieurs fois et avec plusieurs mâles, et stocker le sperme de plusieurs mâles, alors qu'un seul rapport suffirait pour assurer la reproduction. Elle peut accepter l'offrande nuptiale et ne pas accepter l'accouplement. Elle va dans certains cas pouvoir se dégager avant la fin de l'acte, ou éjecter le spermatophore avant que le sperme n'ait gagné les spermathèques. Une fois le sperme stocké, rien ne garantit qu'il va être utilisé pour féconder les ovules, il peut ainsi être utilisé à des fins nutritionnelles, être éjecté... La **sélection du sperme** s'effectuerait au moment de la fécondation. Une fois la fécondation effectuée, les œufs vont descendre les oviductes et sont orientés selon deux rangées avant d'être recouverts par un sac protecteur, l'ensemble ainsi formé est appelé une **oothèque**. *Blatella germanica* est un ovipare de type B, elle transporte son oothèque accrochée à sa cavité génitale et la dépose juste avant l'éclosion des œufs au bout de 14 à 35 jours. Pendant toute la période de maturation, la femelle peut ainsi transférer de l'eau et des éléments solubles aux embryons, et les protéger. L'oothèque mesure environ 7 mm de long pour 3 mm de large.

Quand elles sont isolées des mâles, les femelles peuvent se reproduire selon un mode asexué, la **parthénogénèse**. La descendance n'est alors composée que de femelles.

De nombreux facteurs influencent la reproduction : l'abondance de nourriture, la taille du corps, les contacts sociaux et l'âge. La présence de conspécifiques accélère la reproduction chez *B. germanica*.



Figure 13 : *Blatella germanica* femelle porteuse d'une oothèque (31)
(Source : ©University of Nebraska)

2.2.2. Cycle de vie

Les femelles peuvent produire **5 à 8 oothèques** dans leur vie contenant **30 à 48 œufs**, elles pondent ainsi en moyenne **300 œufs** au cours de leur vie. L'oothèque est portée pendant 14 à 35 jours. Elle est généralement déposée dans une fente ou près d'un mur, 24 heures avant l'éclosion, un petit pourcentage pouvant éclore alors que l'oothèque est encore attachée à la mère. Aussitôt, les nouveau-nés partiront en quête de nourriture. Il faut compter environ deux semaines pour la formation d'une deuxième oothèque (32).

Le développement des jeunes dure environ 3 mois, au cours desquels ils subiront 6 à 7 mues. Quand le taux d'humidité et la température sont favorables (25 à 33°C et 60 à 80% d'humidité relative), le développement peut se faire en 2 mois. Il peut prendre plus d'un an si les conditions sont défavorables. Les jeunes blattes ressemblent aux adultes, mais elles sont de plus petite taille et n'ont pas encore d'ailes ni d'organes sexuels. Les nouveau-nés mesurent à peine 3 mm de long et sont de couleur noire. Immédiatement après la mue le corps de la blatte devient blanchâtre et mou, il lui faudra quelques heures pour que la cuticule se forme et qu'elle retrouve sa couleur caractéristique.

Dans des conditions propices, le **cycle** des blattes germaniques est de **2 à 5 mois**, produisant ainsi jusqu'à 5 générations par année.

L'espérance de vie de la blatte est de 100 à 200 jours. Une blatte peut à elle seule avoir jusqu'à 10000 descendants au bout d'un an, à raison de deux générations (33).



Figure 14 : *Blatella germanica* mâle à gauche, femelle, à sa droite portant l'oothèque, ainsi que différents stades larvaires (32)

(Source : ©University of Nebraska)

2.2.3. Comportement

La blatte germanique est un insecte très rapide qui peut parcourir de longues distances en marchant. Bien que les individus des deux sexes présentent deux paires d'ailes bien développées, la Blatte germanique est incapable d'effectuer un vol soutenu.

Elle infeste les maisons, les restaurants, les hôtels, les hôpitaux, tout endroit où elle trouve **humidité, chaleur, nourriture** et **abri**. De **mœurs nocturnes** elle se cache la journée à l'abri de la lumière, et sort la nuit en quête de vivres. Elle affectionne particulièrement les cuisines, le coin poubelle, les dessous d'éviers et de baignoires, les conduits divers, les endroits difficilement accessibles : derrière les meubles, les appareils électroménagers...

C'est un insecte **omnivore**, elle mange à peu près tout: débris végétaux, restes de viande, produits laitiers, aliments sucrés, légumes, fruits, aliments pour animaux, graisses, ongles, cheveux, tissus, papier, particulièrement si il est enduit de colle. Les mâles ont besoin de quantités moindres de nourriture que les femelles. Si besoin, la blatte peut jeûner plusieurs semaines. Une blatte décapitée meure au bout d'une semaine de soif et non de faim. Il peut arriver qu'elle s'adonne au cannibalisme.

Les blattes domestiques aiment généralement s'établir près des sources d'aliments et d'eau. Elles sont individualistes et ne ramènent pas les aliments dans leur cachette, elles préfèrent les consommer sur place.

Ce sont des insectes **thigmotactiques**, qui aiment être en contact avec un congénère ou avec les éléments de leur environnement. Lorsqu'elles se déplacent en extérieur leurs **antennes, véritables organes sensorielles**, sont orientées à 30° par rapport au milieu du corps, pour leur permettre de repérer les obstacles qui pourraient se trouver sur leur chemin. Dans un milieu fermé inconnu, elles vont avoir tendance à garder toujours une antenne collée au mur et à le suivre, une fois l'environnement devenu familier, elle se déplace plus librement.

2.2.4. Phénomènes d'agrégation

La blatte germanique est un insecte grégaire, elle vit en groupe. Il est possible de la retrouver aux côtés de blattes d'autres espèces, comme *P. americana* ou *B. orientalis*.

La **taille du groupe** est directement contrôlée par les **ressources de base**, si les quantités en eau et en nourriture sont suffisantes, c'est la taille de l'habitat qui limitera la taille de la population. Tous les stades sont retrouvés dans les regroupements de *B. germanica*, mais les premiers stades ont tendance à rester en groupes plus serrés. À l'éclosion les nouveau-nés maintiennent une certaine distance mais se regroupent dès que leur cuticule est formée. Cette tendance au regroupement va dépendre du stade de développement et du sexe de l'animal. Ainsi les femelles gravides ont plus tendance à se regrouper que les femelles non gravides. Du fait de la compétition pour l'accouplement, les mâles ont eux par contre tendance à s'éloigner et à passer le moins de temps possible dans le refuge.

Le **comportement social** des cafards est régi par les **phéromones**, qu'elles soient volatiles ou de contact. Ces phéromones vont intervenir dans de nombreuses fonctions : sexuelle, attraction, dispersion, alarme, repérage du chemin, et reconnaissance familiale. Ces stimuli chimiques vont orchestrer le comportement d'agrégation des cafards, et ont fait l'objet de nombreuses recherches dans le cadre de la lutte contre leur prolifération. De nombreuses molécules volatiles et non volatiles retrouvées dans les fèces et les sécrétions cuticulaires sont impliquées.

Les **organes sensoriels** des blattes se situent au niveau des **antennes**, véritables capteurs d'odeur et de phéromones, et des **cerques**, véritables détecteurs de mouvement impliqués dans les mécanismes de fuite. Si les blattes passent autant de temps à se nettoyer, elles-mêmes ou entre elles, c'est pour assurer le bon fonctionnement de leur système sensoriel (34).

2.3. Impacts sur la santé humaine (35)

2.3.1. Nuisances

Les cafards sont considérés comme des **nuisibles** car ils vont pouvoir envahir tout endroit où sont stockés des aliments qu'ils vont contaminer avec leurs **fèces**, et une sécrétion noirâtre qu'ils régurgitent en mangeant. Leurs **sécrétions salivaires** ainsi que **corporelles** vont être à l'origine d'une odeur nauséabonde et persistante. Ces sécrétions vont pouvoir altérer le goût des aliments cuits avec les ustensiles contaminés. Ils peuvent également occasionner des dégâts au niveau des tissus et des produits à base de papier.

2.3.2. Transmission de maladies

Les cafards se déplacent librement, ils se nourrissent de **déjections** humaines et animales, ou peuvent rentrer en contact avec eux lors de leurs nombreux déplacements dans les égouts, les latrines, les canalisations. Les cafards venus de l'extérieur vont potentiellement pouvoir contaminer les aliments avec des **bactéries** responsables d'intoxications alimentaires (*Salmonella spp.* qui peuvent être retrouvées pendant 35 jours dans les fèces de blattes (36) et *Shigella spp.*). Les Blattes germaniques ont la réputation de transmettre des organismes tels que les Staphylocoques, les Streptocoques, les bactéries coliformes, et le virus de la poliomyélite.

La liste des pathogènes qui ont pu être isolés chez la blatte est fournie en annexe (**tableau II**)

L'augmentation importante des **bactéries multi-résistantes** aux antibiotiques posent le problème de leur transport possible et de leur transmission par les blattes. Une étude a démontré que *Staphylococcus aureus* est retrouvé pendant 14 jours dans les fèces de *Blattella germanica* (36). Une autre étude menée en 2012 dans un service de néonatalogie, a étudié les bactéries présentes dans les intestins et sur le corps des blattes. Toutes les bactéries retrouvées étaient multirésistantes (37) et s'avèrent être une cause fréquente de septicémie nosocomiale en service de néonatalogie. Une étude antérieure avait déjà démontrée la similitude entre des *klebsellia* multirésistantes retrouvées au niveau des plaies des patients et chez les cafards présents dans le service (38).

Des études réalisées sur les bactéries transportées par les cafards ont démontré que nombre d'entre elles sont multi-résistantes aux antibiotiques, et ce aussi bien à l'hôpital qu'en ville. Les cafards, qui sont la proie de nombreux animaux et oiseaux, pourraient ainsi **propager les gènes de résistance bactérienne**.

2.3.3. Allergies

Les fèces, la salive, les sécrétions corporelles, les mues et les corps morts des blattes, constituent des **sources d'allergènes puissants**. Ils vont pouvoir entraîner des réactions cutanées, dermatites atopiques, démangeaisons, gonflements des paupières, rhinites, mais surtout de **l'asthme**. Dès les années 1940, des phénomènes de rash cutanés **(39)** et d'asthme **(40)** ont pu être attribués aux allergènes des cafards.

Les enfants atteints d'asthme et allergiques aux allergènes de blattes ont un taux d'hospitalisation 3.4 fois plus élevé pour l'asthme que les autres enfants asthmatiques **(41)**. Ils consultent 78% de fois plus le médecin à cause de l'asthme et font preuve de plus d'absentéisme scolaire.

La prévalence de la sensibilisation aux blattes est mal connue, elle varie de 14 à 25% selon les auteurs et selon les quartiers où les études sont menées. Une étude menée par l'US Department of Health and Human Services a démontré que les allergènes de blattes sont en première ligne en ce qui concerne les **pneumallergènes d'intérieur** impliqués dans la maladie asthmatiforme chez l'enfant **(42)**.

On recherchera une allergie aux blattes devant des signes d'allergie persistante. L'identification se fait à l'aide d'un **prick test**, test cutané consistant à injecter une quantité infime de l'allergène à tester. Le traitement passe principalement par la **prévention**, aérer les pièces tous les jours, passer l'aspirateur tous les jours, le chapitre suivant traitera des différentes pratiques à mettre en œuvre pour se débarrasser de ces indésirables. Si cela s'avère insuffisant, il est possible de pratiquer une **désensibilisation** qui donne en général de bons résultats.

2.4. Méthodes de lutte

Se débarrasser des blattes n'est pas aisé. Il va falloir dans un premier temps déterminer où les cafards se cachent. Plus le nombre de cachettes détectées est important, plus les chances de succès du programme de lutte sont grandes. Il faut garder à l'esprit que les cafards aiment la chaleur et l'humidité, certaines cachettes, comme le dessous de la baignoire, peuvent s'avérer difficiles d'accès. Ils aiment s'infiltrer dans les petites fissures aux parois desquelles ils se frottent le dos et l'abdomen. Bien que les appâts soient très efficaces, si les cafards ont accès aux aliments stockés, à la nourriture des animaux, à la vaisselle sale, ils seront sans effet. Les cafards continueront de se nourrir et ignoreront les appâts. Il faut garder à l'esprit que **les sprays seuls sont inefficaces**. La meilleure méthode de lutte restant celle qui applique une approche intégrant plusieurs stratégies différentes: la **méthode de lutte intégrée des nuisibles (43, 44)** est le plus sûr moyen de se débarrasser des blattes et de prévenir une nouvelle infestation. En d'autres mots, il va

falloir modifier tout ce qui permet aux cafards de se sentir chez eux. Tous les aspects suivants doivent être pris en compte :

- réduction des sources de nourriture et d'eau,
- élimination des cachettes potentielles,
- utilisation d'appâts,
- éviter autant que possible l'usage des sprays,
- utilisation de pièges pour contrôler les populations de blattes.

La clé du succès dans la lutte contre les cafards réside dans les **mesures sanitaires** et l'**élimination des cachettes** : les cafards pourront réinvestir les lieux tant que les conditions de vie leur sont favorables, c'est à dire, si nourriture, eau et cachettes sont toujours à leur disposition. Il est important de savoir que les machines à ultrasons vendues dans le commerce pour éloigner les cafards sont inefficaces **(45)**.

2.4.1. Localisation des blattes

Les **pièges** vont permettre de localiser les blattes, et permettront ainsi de mieux diriger les attaques contre les insectes. Ils convient d'en placer plusieurs dans des endroits stratégiques et de les contrôler régulièrement. Ils peuvent également être utiles pour contrôler l'efficacité du traitement. Les pièges du commerce ont une efficacité qui n'est pas limitée dans le temps, ils sont recouverts d'une matière collante qui va piéger le cafard et d'un appât situé en son centre. Pour être utile les pièges devront être placés dans les endroits où les blattes mènent leurs activités de recherche. Il aura donc fallu au préalable détecter les endroits où elles se cachent en recherchant des traces de leur présence : matières fécales, qui laissent des tâches noires, exosquelettes des mues, oothèques, et cafards morts ou vivants.

Dans tous les cas, placer des pièges à **tous les angles des pièces**, dans la **cuisine**, derrière les meubles et l'électroménager : frigo, gazinière..., dans les **toilettes** et la **salle de bain**.



Figure 15 : exemple de piège, un appât attire les cafards qui se retrouvent englués au niveau du pourtour collant (46)
(Source : ©Simon Lancelevé)

Il est possible de confectionner un piège maison avec un pot en verre que l'on enveloppera dans du papier ou dont on aura pris le soin de colorer l'extérieur en noir. Il suffit d'en badigeonner l'intérieur avec de la vaseline pour empêcher les blattes de s'en échapper et d'y placer au fond des aliments. Les blattes ainsi capturées pendant la nuit devront être tuées le lendemain matin au réveil en les plongeant dans de l'eau savonneuse.

2.4.2. Hygiène

Les cafards prospèrent là où la nourriture et l'eau sont disponibles, comme l'illustre si bien le film, "*Joe's apartment*" (1996) réalisé par John Payson, où un jeune homme à l'hygiène plus que douteuse devient le meilleur ami des cafards qui vont tout faire pour l'aider à conserver son logement. D'infimes quantités de miettes ou de liquides prises dans une fente suffisent.

Les mesures d'hygiène vont inclure de :

- **ne jamais laisser des aliments ou de l'eau**, à découvert et de nettoyer immédiatement toute substance renversée. Ne pas laisser les aliments et l'eau des animaux trainer toute la nuit, on peut les placer la journée dans un plat rempli d'eau savonneuse, qui a des propriétés insecticides et se chargera d'éliminer les blattes qui s'y aventureraient.

- conserver les aliments dans des **contenants en plastiques** ou en verre hermétiquement fermés.

- **nettoyer** régulièrement **le tour et le dessous** des appareils électroménagers, ainsi que les coins sombres et humides qui se trouvent à proximité d'une source d'aliments. Une simple couche de graisse accumulée derrière la gazinière peut suffire à nourrir une colonie de blattes.

- nettoyer bien la cuisine tous les jours.

- placer les ordures dans des **sacs en plastique scellés** et les éliminer tous les jours.
- **ne laisser pas trainer la vaisselle** ni dans l'évier, ni ailleurs, elle doit être lavée après chaque repas et essuyée immédiatement pour éviter toute trace d'eau résiduelle. Dans le cas où on ne peut la laver, la plonger dans de l'eau savonneuse.
- passer régulièrement l'**aspirateur** pour éliminer toute trace d'aliments et de l'insecte. Les oothèques, exuvies et blattes étant allergisants il est recommandé d'utiliser un aspirateur à filtre HEPA (High Efficiency Particulate Absorber) qui empêchera la diffusion des allergènes dans l'atmosphère.
- éliminer toute source potentielle d'**humidité**: réparer toute fuite, aérer tous les jours la salle de bain... Le contrôle de l'humidité et l'amélioration de l'éclairage et de la ventilation dans les endroits critiques favoriseront l'élimination des blattes.

2.4.3. Lutte physique

2.4.3.1. Les pièges (cf 2.4.1.1.)

2.4.3.2. Scellage des abris et des points d'entrée

Pendant la journée, les blattes se cachent aux alentours des chauffe-eaux, dans les fissures des meubles, dans ou derrière les appareils électroménagers, à l'intérieur de n'importe quel interstice ou espace sombre. **Limiter le nombre de cachettes et de points d'accès** aux espaces de vie est un **point essentiel** dans la stratégie anti-cafards. Les faux fonds de placard, les trous dans les murs, et tout endroit similaire, sont autant de cachettes potentielles. Il faut aussi prévenir l'accès à l'intérieur du bâtiment, les fissures, les canalisations, les dessous de porte, toute imperfection dans la structure sont autant de portes d'entrée potentielles. Il peut arriver qu'on ne puisse pratiquer les mesures nécessaires, il faudra alors envisager de traiter ces endroits avec de l'**acide borique** ou de la **Terre de diatomée**, insecticides naturels sur lesquels nous reviendrons par la suite.

L'ensemble des mesures suivantes sont à mettre en place dans la mesure du possible :

- bloquer, sceller ou calfeutrer les fissures autour des fondations, ainsi que les points d'accès aux trous dans les murs.
- sceller les bouches d'aération, d'évier, du bain et des endroits par où passent la tuyauterie et les fils électriques.
- poser des bandes d'étanchéité autour des portes et des fenêtres, en particulier dans les immeubles où les blattes passent facilement d'un appartement à l'autre, placer des moustiquaires au niveau des bouches d'aération.

- reboucher tous les trous et fissures à l'intérieur, siliconer le dessus et le dessous des plinthes.

- boucher toutes les évacuations.

- nettoyer les plantes et arbres qui peuvent servir de refuges aux cafards.

2.4.3.3. Nettoyage vapeur et congélation

Si vous soupçonnez la présence de blattes dans les meubles, les jouets ou autres objets, faites nettoyer ceux-ci à la vapeur, si bien sûr un tel traitement est supporté. Les objets infestés peuvent également être placés au congélateur (-8°C) pendant au moins 24 heures.

2.4.4. Lutte chimique

2.4.4.1. Les insecticides naturels

2.4.4.1.1. La Terre de diatomée (poudre de silice) (45)

La Terre de diatomée, appelée aussi **dioxyde de silicium**, Kieselguhr ou encore Diatomite, est une fine poudre composée de fossiles d'algues unicellulaires, les Diatomées. Ces algues ont la particularité de posséder une structure externe siliceuse entourant complètement la cellule. L'**ingestion** de particules de silice par les insectes provoque des lésions au niveau de leur tube digestif. Quand les insectes passent dans les endroits traités avec la poudre, celle-ci va s'amasser sur leurs soies et provoquer des **lésions au niveau de leurs membres et de leur carapace**, entraînant une perte de fluide corporel qui conduit à la mort par déshydratation de l'insecte (47). Son pouvoir absorbant favorise ce processus. En général les blattes meurent dans les **1 à 2 semaines** suivant l'application du produit. La Terre de diatomée demeure active tant qu'elle reste sèche. Elle sera appliquée dans les lieux de passage des blattes, dans les interstices, les fissures où l'on soupçonne qu'elles se cachent. Lors de l'application du produit, il est conseillé de porter un masque, l'inhalation de la poudre pourrait avoir un effet irritant sur les muqueuses respiratoires voire provoquer des lésions au niveau des tissus pulmonaires.

2.4.4.1.2. L'acide borique (45)

L'acide borique est une **poudre minérale naturellement insecticide**. Il va soit pouvoir être disposé au niveau des endroits de passage des blattes, en couche mince, les fines particules s'accrochent à leurs pattes provoquant des **brûlures chimiques mortelles** (48), les insectes vont également pouvoir l'ingérer en se nettoyant. Il reste efficace tant qu'il est sec. Il peut également être mélangé à part égale avec du lait concentré sucré, on va alors

préparer une patte qui durcira au bout d'une trentaine de minutes, et avec laquelle on constituera des boulettes que l'on disposera dans des endroits stratégiques. L'acide borique est un **poison pour les insectes qui l'ingèrent**.

Il est à manipuler avec précaution, lors de son application et de la confection des boulettes, le port de lunettes, d'un masque et de gants est obligatoire. Il doit être mis hors de portée des enfants et des animaux. Il est reprotoxique (atteinte testiculaire, diminution de la fertilité et tératogène) et possède une toxicité systémique notamment après passage transcutané (**49, 50**). Des réactions d'irritations locales cutanées ou oculaires sont susceptibles d'apparaître lors de son utilisation.

Il faut noter qu'il n'est cependant plus autorisé aujourd'hui dans l'union européenne, sur décision de la Commission européenne du 30 juin 2004 à rentrer dans la composition des produits phytopharmaceutiques (**51**).

2.4.4.1.3. Les insecticides biologiques

De plus en plus de laboratoires proposent des insecticides "biologiques". Le plus souvent basés sur une formulation à base de pyrèthres issus de plantes et/ou d'un mélange d'huiles essentielles: lavandin, menthe, cyprès, romarin, etc... : Insecticide 4j PENN'TY BIO, insecticide anti-blattes AEDES... **Ces produits ne sont pas recommandés**. Les pyrèthres naturels ou non font l'objet de nombreuses résistances, et ne peuvent qu'augmenter ce phénomène s'ils sont utilisés seuls. Les huiles essentielles quant à elles, vont avoir un effet répulsif, et non pas curatif. Elles ne vont donc faire que déplacer le problème. De plus extrêmement volatile, leur persistance sera très faible.

2.4.4.2. Les pesticides et insecticides

Les traitements insecticides ne sont à envisager que dans le cadre d'**infestations importantes, et après échec des méthodes énoncées ci-dessus**. Ils sont à utiliser avec précaution, et peuvent demander l'**intervention de professionnels**.

Les problèmes croissants de **résistance** aux insecticides, et le fait que nombre d'entre eux aient un effet répulsif rendent difficile le contrôle des populations de cafards en les utilisant. Bien qu'ils aient l'avantage d'avoir un effet rémanent, ils n'offrent qu'une **protection temporaire** et n'empêcheront pas une nouvelle infestation si les **mesures d'hygiène et environnementales** n'ont pas été mises en place.

Les insecticides sous forme de poudre ou de spray sont appliqués au niveau des zones d'infestations. De tels produits sont efficaces sur des périodes pouvant aller de quelques jours à plusieurs mois, en fonction de l'insecticide et du substrat sur lequel il est déposé. Les

insecticides peuvent également être combinés à des appâts.

La liste des insecticides utilisés dans la lutte contre les cafards selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (2006) est fournie en annexe (**Tableau III**).

2.4.4.2.1. Résistance aux insecticides

La blatte germanique est **résistante à de nombreuses molécules** dans de nombreuses classes d'insecticides: organochlorés (aujourd'hui interdits), organophosphorés, carbamates et pyréthriinoïdes. Les inhibiteurs de croissance qui ont une action lente sont souvent utilisés en association et n'échappent pourtant pas à ce phénomène. Afin de limiter l'apparition de nouvelles résistances, il va donc falloir utiliser des **combinaisons d'insecticides**.

2.4.4.2.2. Les appâts

Ils vont être à utiliser en **première intention**. Ils peuvent se retrouver sous plusieurs formes, pâte, granules, gels ou poudres. Ils vont généralement être basés sur un **insecticide à longue durée d'action**, et vont demander au moins 7 jours avant de produire un effet. Ils vont être d'une inégale efficacité au niveau des populations de blattes, les femelles porteuses d'oothèques se nourrissant et se déplaçant peu. Il est important de les placer à proximité des foyers, et comme pour les pièges, aucune autre source alimentaire ne doit être disponible pour les cafards. Il est fortement recommandé de **changer d'insecticides** pour chaque nouveau piège afin de limiter au maximum l'apparition de résistances.

2.4.4.2.3. Les sprays et aérosols

Bien que les sprays soient efficaces immédiatement, ils n'apportent **pas de bénéfices sur le long terme**. Ils ont souvent une **action répulsive** sur les cafards et ne doivent pas être appliqués là où les pièges sont placés. Les molécules contenues dans les sprays sont souvent des pyréthriinoïdes contre lesquels les cafards sont de plus en plus résistants. Ils sont à éviter un maximum, car bien souvent ils entraînent une **dispersion** des cafards.

La faible efficacité des sprays et insecticides est très bien illustrée dans le cinquième court métrage de Creepshow, "*They're creeping up on you*" ("ça grouille de partout"), de Georges Roméro sorti en 1982. Dans ce film un homme vivant dans un appartement aseptisé se retrouve envahi par les cafards avec pour seule arme sa bombe insecticide, il ne sortira pas vainqueur.

Si malgré toutes les mesures énoncées ci-dessus, le problème persiste, le mieux est de

faire appel à des professionnels, les insecticides étant toujours à manipuler avec précaution du fait de leur **importante toxicité**.

2.4.5. Contrôle de l'efficacité du traitement

L'évaluation du traitement se fera grâce aux **pièges**.

2.5. Les ennemis naturels : la lutte biologique

Devant le nombre croissant de résistances rencontrées, l'attention des autorités de santé se tourne de plus en plus vers les ennemis naturels.

2.5.1. *Scutigera coleoptrata* ou scutigère véloce

La scutigère véloce ou centipède commun des maisons, serait originaire des pays méditerranéen. Aujourd'hui, elle est retrouvée en Asie, en Europe et en Amérique. Elle aime les climats tempérés et se retrouve le plus souvent dans les habitats. De **mœurs nocturnes**, comme ses proies, elle affectionne les lieux humides comme les salles de bains et les toilettes. Elle tire son nom de sa **très grande rapidité**. Son aspect peu engageant lui donne mauvaise réputation, alors qu'elle est fort utile, car carnassière, elle se nourrit de **nombreux nuisibles** : **cafards**, moustiques, **punaises des lits**, fourmis, ou encore poissons d'argent. Elle repère ses proies grâce à ses antennes puis les maintient tout en leur injectant un poison avec ses pattes avants modifiées **(52)**. Prédateur très actif, le meilleur moyen de s'en débarrasser si vraiment son aspect nous répugne est de se débarrasser de ses proies.

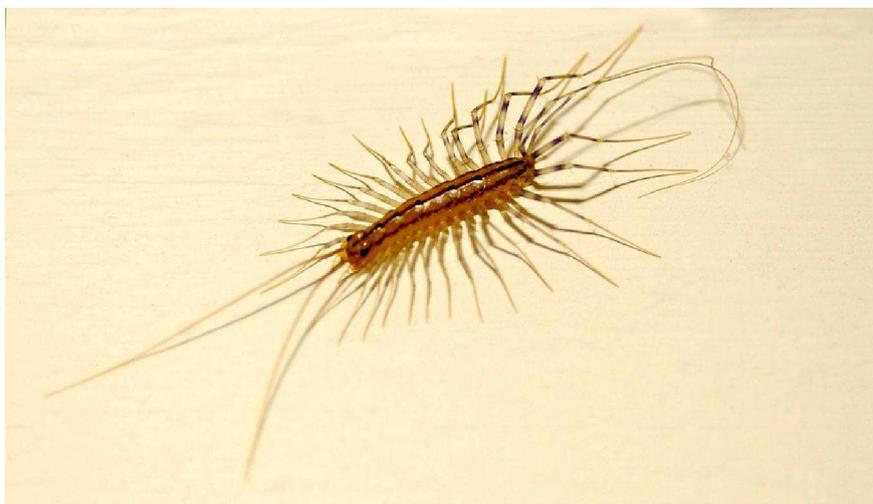


Figure 16 : La scutigère véloce **(52)**
(Source : ©Phil Myers, 2003)

2.5.2. Les Gekkota ou geckos

Les geckos sont des reptiles appartenant au sous-ordre des sauriens. De **mœurs nocturnes** ils sont très friands de blattes. Ils ont colonisé de nombreux milieux, des forêts tropicales, au pourtour méditerranéen, du désert jusqu'à des altitudes enneigées. On en trouve trois en France, la Tarente, le gecko verruqueux ou gecko turc et le phyllodactyle d'Europe. Avant de s'empresser d'en acquérir un, il faut bien avoir à l'esprit qu'un gecko peut vivre 13 à 15 ans, et qu'une fois son œuvre terminée il faudra s'en occuper, lui fournir un vivarium adéquat, et de la nourriture fraîche régulièrement.



Figure 17 : Gecko se nourrissant d'une blatte
(Source : <http://recif-tapete.fr>)

2.5.3. *Erinaceus europaeus*, le hérisson

Allié de premier plan des jardiniers, le hérisson se nourrit de limaces, escargots, fruits, baies et divers insectes dont les blattes. Il ne faudra pas utiliser de pesticides en sa présence car il y est extrêmement sensible.



Figure 18 : *Erinaceus europaeus* ou hérisson commun
(Source : WIKIPEDIA, ©Jörg HEMPEL, 2007)

2.5.4. *Euscorpius flavicaudis* ou scorpion à queue jaune

Ce petit scorpion qui mesure de 3.5 à 4.5 cm se retrouve en Europe (France, Italie, Espagne), en Afrique (Algérie, Tunisie), en Grande-Bretagne et en Uruguay. Il préfère les climats chauds et tempérés, et se retrouve dans les habitations. Très peu venimeux, sa piqûre chez l'homme s'apparenterait à celle d'une d'épingle (53). Il se nourrit de petits insectes dont les blattes, la taille de ses proies correspondant à la moitié de sa taille environ.



Figure 19 : *Euscorpius flavicaudis* mâle (53)
(Source : ©Jan Ove Rein, 2000)

2.5.5. Les hyménoptères ou guêpes parasitoïdes (54)

Ces guêpes font l'objet de recherche dans la lutte biologique contre les cafards et sont même commercialisées dans le cadre de l'**agriculture** aux États-Unis. Elles sont très sensibles aux insecticides, dont l'utilisation est à proscrire.

Pour *Aprostocetus hagenowii* (Figure 21) (55), parasite entre autres de *Periplaneta americana* et *Blatta orientalis*, et pour *Comperia merceti* (Figure 20) (56), parasite exclusif de *Supella longipalpa*, les femelles vont venir pondre leurs œufs dans l'oothèque, dans lesquelles les larves vont éclore et se développer en se nourrissant des larves de cafards. Elles sortiront de l'oothèque à l'âge adulte par un trou qu'elles auront creusé.

Une autre guêpe parasitoïde, *Ampulex compressa* (Figure 22) (57), la guêpe émeraude ou guêpe bijou, est également utilisée pour contrôler les populations de *Periplaneta americana*, et de deux autres espèces, en agriculture biologique. Cette guêpe va en période de reproduction rechercher un cafard. Elle le paralyse temporairement en plantant son dard venimeux dans son ganglion thoracique, elle l'empêche de s'enfuir en le piquant ensuite au niveau des ganglions céphaliques puis le tire par une antenne jusqu'à son nid. Elle pondra alors un œuf qui éclore au bout de 3 jours, la larve se nourrissant des organes internes du cafard toujours en vie jusqu'à la formation du cocon. Au bout de 4 semaines, une guêpe

adulte émergera du corps mutilé du cafard.



Figure 20 : Jeune adulte de *Comperia merceti* émergeant de l'oothèque de *Supella longipalpa* (56)
(Source : INRA: ©Alex Wild, 2008)



Figure 21 : *Aprostocetus hagenowii*
(Source : ©Entocare, <http://www.entocare.nl>)

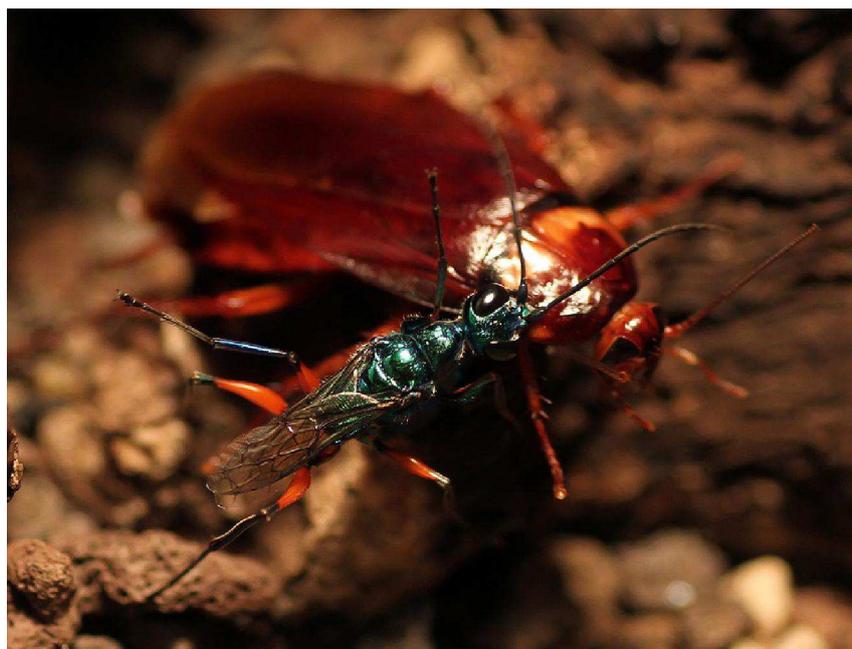


Figure 22 : *Ampulex compressa* immobilisant un cafard
(Source : PhotoMonde, <http://www.photomonde.fr/>)

L'utilisation de ces guêpes parasites permet un **très bon contrôle des populations de cafards**, cependant il est peu probable, qu'elles soient bien acceptées par le grand public pour traiter une invasion domiciliaire.

2.5.6. Champignons entomopathogènes (58)

Metarhizium anisopliae et *Beauveria bassiana* sont deux champignons entomopathogènes retrouvés naturellement dans le sol et inoffensifs tant pour l'homme que pour les animaux de compagnie. Leurs spores vont se déposer sur la cuticule de l'insecte et se développer en hyphes qui vont traverser la cuticule. Le champignon se développe alors à l'intérieur de l'insecte en le tuant. Une fois l'insecte mort, le champignon va produire des spores qui vont pouvoir contaminer d'autres insectes. L'insecte contaminé par les spores va également pouvoir contaminer ses congénères en se nettoyant.

Metarhizium anisopliae est disponible dans le commerce sous forme d'appâts, Biopath® pour les professionnels et Bengal® pour les particuliers. Le maintien des conditions d'humidité pour le champignon est assuré par un gel d'agar. L'eau représente l'élément attracteur pour les cafards. Pour rester actif, le piège doit être éloigné des sources de chaleur.

Ces appâts manquent toutefois d'efficacité sur les formes adultes et donnent lieu à des résistances, c'est une véritable course à l'armement entre pouvoir pathogène des champignons et défenses de l'insecte.

Des tests effectués avec *Beauveria bassiana* montre que son efficacité est augmentée en le mélangeant à l'acide borique (59).

Nous allons maintenant étudier le cas de *Cimex lectularius*.

3. Les punaises des lits : *Cimex lectularius*.

3.1. Généralités

La punaise des lits compte parmi les plus anciens parasites de l'homme. Avant de s'installer dans les habitations et de vivre essentiellement à ses dépens, il semble, que *Cimex lectularius* ait vécu dans les cavernes et les grottes du Moyen-Orient parasitant des colonies de chauve-souris. Elle se serait adaptée à l'homme au cours de la préhistoire, au moment de l'ère glaciaire il y a environ 40000 ans, lorsque celui-ci est venu trouver refuge dans les grottes. Elle s'y serait associée de façon permanente lorsqu'il a quitté les cavernes pour construire des habitations. On la retrouve dans des tombeaux égyptiens de plus de 3300 ans. Si sa propagation est difficile à définir, on peut dire qu'elle était très certainement présente en Grèce en -400 avant Jésus-Christ, en Italie en 77 après Jésus-Christ, et en Chine en 600 après Jésus-Christ. Les punaises des lits ont été décrites dans les littératures grecques et romaines (Pline l'Ancien) pour les propriétés médicinales qu'on leur supposait dans le traitement des morsures de serpent et des infections auriculaires. Les croyances autour de leurs propriétés médicinales ont persisté jusqu'au dix-huitième siècle, quand Guettard naturaliste français, qui traduisit entre autre Pline l'Ancien, recommanda leur utilisation pour traiter l'hystérie. Les punaises des lits furent mentionnées pour la première fois en Allemagne au onzième siècle, en France au treizième siècle et en Angleterre au seizième siècle, où elles demeurent rares jusqu'en 1670. Elles y seraient devenues abondantes suite au grand incendie de Londres en 1666, et seraient arrivées avec le bois ramené pour reconstruire la ville **(60)**.

On retrouve des références aux punaises des lits dans le Talmud, mais elles ne sont pas citées dans la bible.

Bien connues en France avant la Seconde Guerre mondiale, elles avaient jusque-là pour ainsi dire disparu des pays développés, tout en se maintenant dans les pays pauvres. L'apparition du DDT (dichlorodiphényltrichloroéthane) après guerre, insecticide à forte rémanence et utilisé systématiquement pour lutter contre les nuisibles (cafards, mites), serait la principale cause du blocage de leur expansion. De nos jours, ces produits sont interdits, du fait de leur toxicité, et les pièges attractifs utilisés contre les autres nuisibles sont sans effet sur les punaises de lit. De ce fait, on assiste à une recrudescence mondiale depuis les années 1990 **(61)** et depuis quelques années des contaminations, favorisées par l'augmentation des voyages internationaux, sont de plus en plus décrites dans de nombreux pays développés (Amérique du Nord, Europe, Australie...) touchant tous les types de bâtiments, des hôpitaux aux hôtels, des chambres d'hôtes aux particuliers. New-York, San Francisco, Vancouver, Toronto, Montréal, Paris **(62)**, aucune grande ville n'est épargnée. À New-York c'est plus d'un demi-million de dollars en moins d'un an qui a été dépensé dans la lutte. Des grandes enseignes ont fermé, Hollister, Abercrombie, Fitch, Victoria's secret **(63)**.

En France dans un Formule 1 de Chartres, un jeune homme s'est réveillé avec plus de 500 piqûres de punaises de lit (64).

Une page leur est consacrée sur le site Santé du Ministère des affaires sociales et de la santé. Un site dédié régulièrement actualisé permet de localiser les hébergements, hôtels notamment, qui hébergent ces indésirables en Amérique du Nord et en Angleterre (<http://www.bedbugregistry.com/>). Une véritable recrudescence de punaises des lits après de longues années de silence.

3.1.1. Taxonomie

Ce sont des insectes Ptérygotes, appartenant à l'infra-classe des Néoptères, ordre des Hémiptères et sous ordre des Hétéroptères.

La famille des **Cimicidae** qui comprend les punaises des lits, compte presque une centaine d'espèces, réparties en six sous-familles. Les oiseaux et chauves-souris sont les hôtes primaires de la majorité des espèces. Le terme de "punaises des lits" regroupe deux espèces en particulier, celles dont l'hôte primaire est l'homme : ***Cimex lectularius*** et ***Cimex hemipterus*** ; quatre autres en Europe peuvent occasionnellement parasiter l'homme : *C. columbarius*, *C. pipistrelli*, *C. dissimilis* et *Oeciacus hirundinis*, mais ont pour hôte primaire les oiseaux et les chauves-souris.

Le tableau fourni en annexe (**Tableau IV**) présente les différentes sous-familles et genres de *Cimicidae*. En gras figurent les espèces qui peuvent piquer l'homme.

3.1.2. Les deux espèces invasives chez l'homme: *Cimex lectularius* et *Cimex hemipterus*

Les punaises des lits adultes sont des **insectes hématophages** visibles à l'œil nu, on les compare souvent à des pépins de pomme ou à des confettis. Elles ont une taille comprise entre quatre et sept millimètres, huit millimètres pour *C. hemipterus* ; sont de couleur brune, rouge après un repas ; avec un **corps ovale et aplati**. Leurs **ailles atrophiées** les font souvent improprement désignées comme aptères et les rendent impropres au vol. Les ailes postérieures sont quasi inexistantes et les hémilytres sont plus larges que longues. Les **antennes** sont composées de quatre segments, les deux derniers étant recouverts de **sensilles**, structures sensibles qui augmentent la perception sensorielle. Les **antennes** constituent un véritable **organe sensoriel**. Les côtés du pronotum sont couverts de poils courts et raides. Les pattes ont des tarsi à trois articles, les pièces buccales conçues pour piquer et sucer, forment un **rostre**, habituellement replié sous le corps.

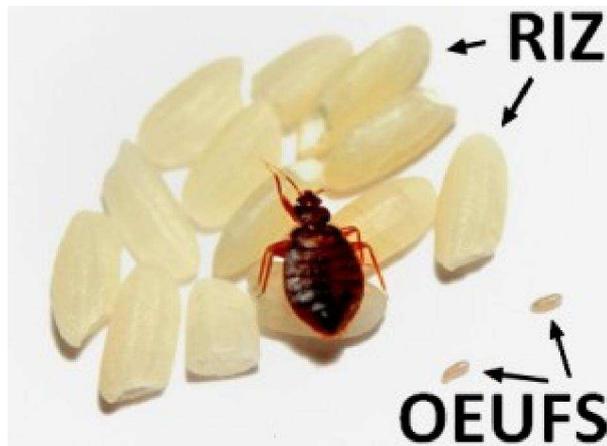


Figure 23 : Taille des punaises des lits par rapport à des grains de riz (65)



Figure 24 : *Cimex lectularius* avec rostre bien visible (66)
(Source : ©Insectarium de Montréal)

C. lectularius se rencontre plutôt en zone tempérée, et sera seul considéré par la suite, *C. hemipterus* se retrouve plutôt en zone tropicale ; bien que des introductions de l'une ou l'autre espèce soient fréquemment observées en dehors de leurs aires de répartition. La différenciation entre les deux espèces se fait par l'étude du premier segment du thorax, le prothorax. La marge latérale du pronotum de *C. lectularius* est beaucoup plus large et les bords en sont plus aplatis.

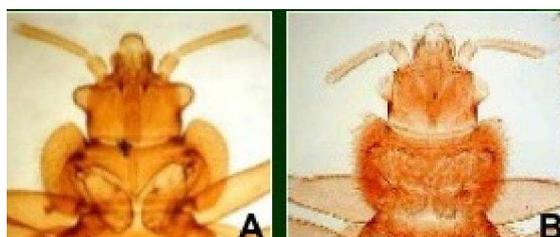


Figure 25 : A: *Cimex lectularius*, B : *C. Hemipterus*, mise en évidence des marges latérales du pronotum (67)



Figure 26 : *Cimex lectularius* adulte femelle à gauche ; mâle à droite (68)



Figure 27 : *Cimex hemipterus* adulte mâle à gauche ; femelle à droite
(Source : www.ym.edu.tw/par/Ynag Ming University, ©National Yang Ming University,)

3.2. Biologie (69)

3.2.1. Cycle biologique et influence de la température

Tous les stades sont hématophages, et le repas sanguin est nécessaire pour atteindre le stade supérieur. Le cycle de développement comprend **trois stades** : œuf, larves (5 stades) et adulte.

Les œufs mesurent de 0.8 à 1.3 mm de long et 0.4 à 0.6 mm de large. Ils sont blanchâtres et operculés, sont émis trois à dix jours après la fécondation pour des températures comprises entre 14 et 27°C. Un repas sanguin est indispensable pour l'oviposition. Une femelle adulte pond **200 à 500 œufs dans sa vie**. La ponte a lieu dans des endroits abrités et obscurs. Ils sont collés à la surface des lieux de refuge, en amas de cinq à quinze unités.



Figure 28 : Œufs de *C. lectularius* (70)
(Source ©Stephen Dogget, 2006)

Les œufs éclosent **dix à vingt jours après**. La nymphe au premier stade mesure à peine plus d'1 mm et est de couleur jaunâtre à jeun, rouge après un repas sanguin. Au dernier stade, elle est à peine plus petite que l'adulte. Tous les stades ressemblent aux adultes, à l'exception de la taille et de la couleur, elles foncent au fur et à mesure des mues. Les larves peuvent multiplier leur poids quatre à sept fois après un repas, en fonction du stade. Il s'écoule **trois à quinze jours entre deux stades larvaires**. Les longueurs approximatives des cinq stades sont : stade 1 : 1 à 1.5 mm, stade 2 : 2 mm, stade 3 : 2.5 mm, stade 4 : 3 mm, stade 5 : 5 à 5.5 mm. Les ailes rudimentaires apparaissent à la dernière mue au stade adulte, tout comme le dimorphisme sexuel.

La punaise des lits est **sensible à la température**. À 30 °C le cycle œuf-adulte dure 21 jours, tandis qu'à 18°C ce même cycle de maturation dure 120 jours (71). Le seuil de température pour l'oviposition, le développement nymphal et l'activité des adultes se situe entre 13°C et 15°C. Les punaises des lits peuvent résister à de basses températures en abaissant leur point de congélation, ainsi elles peuvent survivre sur de courtes périodes à -25°C. Pour obtenir un taux de mortalité de 100% pour tous les stades, il faut compter 80 heures à -16°C, 3.5 jours à -15°C et 48h à -20°C (72). Une température de **45°C** pendant au moins **90 minutes**, 48°C pendant 20 minutes est **létale**, pour tous les stades (73).

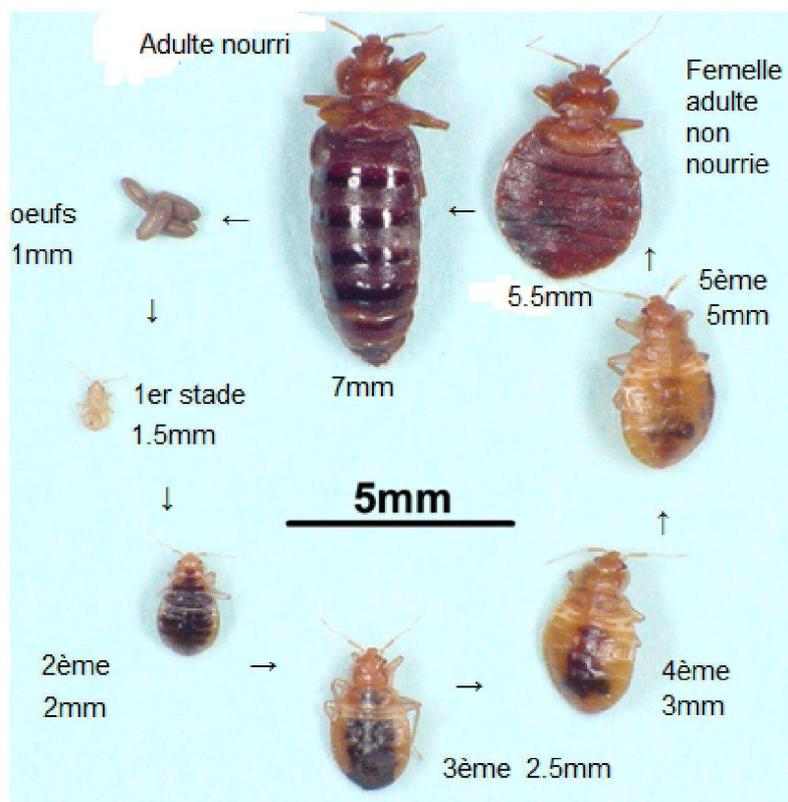


Figure 29 : Cycle de vie de *Cimex lectularius*, les flèches indiquent un repas sanguin (70)
(Source ©Stephen Dogget, 2006)

L'espérance de vie d'un adulte est de **6 à 24 mois**. Un cycle de vie d'œuf à œuf prend de 40 à 70 jours. Il y a environ quatre générations par année.

Les principales caractéristiques biologiques des punaises des lits sont résumées dans le **Tableau V** en annexe.

3.2.2. Comportement

Les punaises des lits sont des insectes au corps très plats qui vont pouvoir se cacher dans les fissures des murs, derrière les plinthes, derrière la tapisserie décollée, dans les sommiers, les matelas, les meubles... Elles sont **thigmotactiques** et vont trouver refuge dans des endroits où leur corps peut être en contact avec un substrat rugueux. Ce qui résulte souvent en un amas de punaises des lits au contact les unes des autres, au milieu des matières fécales, des œufs et des exuvies. Des **phéromones** seraient à l'origine de ces **phénomènes d'agrégation**, il a ainsi été démontré que si l'on retire l'extrémité proximale des **antennes (organes sensoriels)** des punaises des lits, celles-ci ne se regroupent plus. Par contre, les phéromones en elles-mêmes n'ont pas encore été identifiées (69). Lucifuges, elles ont des **mœurs nocturnes**, mais peuvent se nourrir en plein jour si elles ont faim.

Bien qu'un certain nombre de dispersions soient liées à leur activité de recherche de nourriture (elles peuvent parcourir jusqu'à 20 mètres en marchant), le plus souvent, elles

vont être **transportées de façon passive** dans les bagages, les livres, les meubles, et ainsi envahir de nouveaux habitats.

3.2.2.1. Alimentation

La punaise est un insecte **hématophage**. Elle est **attirée par la chaleur et le dioxyde de carbone** dégagés par son hôte. Le **rostre** long est un **appareil piqueur-suceur**, le labium la partie externe forme une sorte de gouttières qui va contenir **deux stylets**. Chaque stylet est composé d'un canal salivaire et d'un canal alimentaire de succion. L'un des stylets va injecter un **anesthésiant** afin de réduire la douleur de la piqûre, l'autre un **anticoagulant** pour fluidifier le sang. Les antennes vont permettre à la punaise de lit d'opérer une reconnaissance du milieu. Une fois son choix arrêté, la punaise de lit se fixe à la peau de son hôte avec ses griffes, les pattes de devant bien étendues afin de pouvoir faire levier pour introduire les stylets. Dans un premier temps, le rostre vertical par rapport à la peau la teste de sa pointe plusieurs fois. Le corps s'anime d'un mouvement du bas vers le haut, et l'introduction des stylets commence. Le repas dure de trois minutes au premier stade larvaire et jusqu'à 10 à 15 minutes pour les adultes. Elle va ainsi ingérer de **trois à six fois son poids**. Quand la punaise est à satiété, elle rétracte ses stylets qui retrouvent leur place dans le labium, et le rostre retrouve sa position repliée. Après le repas, les punaises quittent le voisinage de leur hôte et s'en retournent à leur foyer, où elles restent cachées plusieurs jours.

La fréquence des repas dépend de la température, de la disponibilité en nourriture, du stade larvaire, de la reproduction. Les adultes se nourrissent tous les 3 à 15 jours, les nymphes se nourrissent après la mue, l'intervalle entre deux repas est supérieur à celui des adultes. Le volume du repas sanguin est plus important chez la femelle que chez le mâle, leur repas dure environ 2.4 fois plus longtemps (**74**). Les adultes et les nymphes dans les derniers stades peuvent rester **un an voire un an et demi sans se nourrir**.

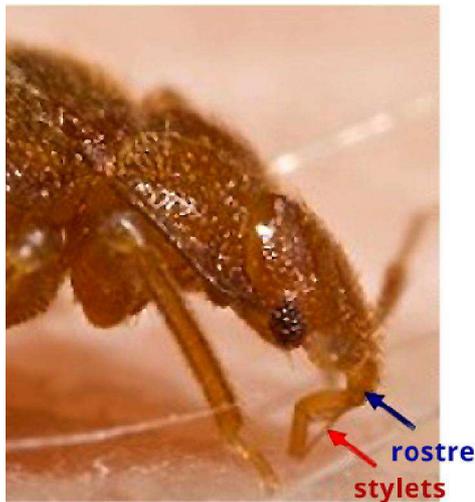


Figure 30 : Détail de l'appareil piqueur suceur au moment de la piqûre (67)

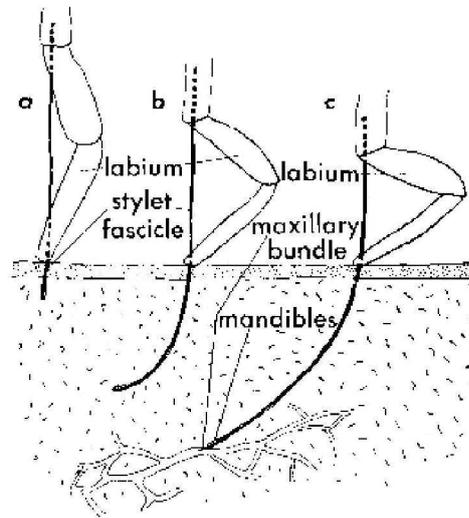


Figure 31 : Diagramme montrant les différentes étapes (a, b, c) lors de l'introduction du stylet à travers la peau et à l'intérieur d'un vaisseau sanguin (75)

3.2.2.2. Reproduction

On reconnaît aisément le mâle de la femelle, le mâle est plus allongé et l'extrémité distale de son corps est pointue, alors que la femelle est plus grosse, plus ovale et l'extrémité distale est arrondie. Le mode de reproduction de la punaise des lits est dit **traumatique**, puisque le mâle n'utilise pas les voies de reproduction naturelles de la femelle pour la reproduction, celles-ci ne serviront que lors de la ponte des œufs. Le mâle est doté d'un organe reproducteur appelé **spicule**, véritable aiguillon, avec lequel il va perforer la cuticule de l'abdomen de la femelle. Il monte sur le dos de la femelle, ses pattes de devant s'accrochant à son prothorax, celles du milieu au coxae de ses pattes arrières, celles de derrière à son abdomen. De là il se positionne verticalement par rapport à la femelle et va introduire son spicule sur le côté de son abdomen. La femelle est dotée d'un **système paragénital** prévu à cet effet, avec d'une part l'**ectospermalège** qui est prédestiné à ce traumatisme et guide l'appareil mâle, et d'autre part, le **mésospermalège (76)**, qui est une structure plus interne, qui a pour rôle de recueillir et drainer les spermatozoïdes jusqu'à une zone de concentration et de stockage : la **spermathèque**. Une femelle peut ainsi stocker les spermatozoïdes de plusieurs mâles et s'en servir pour féconder ses ovocytes ultérieurement.

Le nombre de rapports imposés aux femelles est très important et elles stockent bien plus de sperme que nécessaire. Les blessures occasionnées diminuent de 30% ses chances de survie.

Les mâles sont très actifs sexuellement et sont capables de copuler ainsi plusieurs fois par jour. Ils **ne discriminent pas les mâles des femelles**, et il n'est pas rare qu'ils

"s'accouplent" à un autre mâle, les spermatozoïdes du mâle donneur venant alors se mêler aux spermatozoïdes du mâle récepteur.

Les nymphes produisent des phéromones anti-aphrodisiaques ou phéromones d'alarme qui les préservent des assauts sexuels des mâles (77).

INSEMINATION TRAUMATIQUE

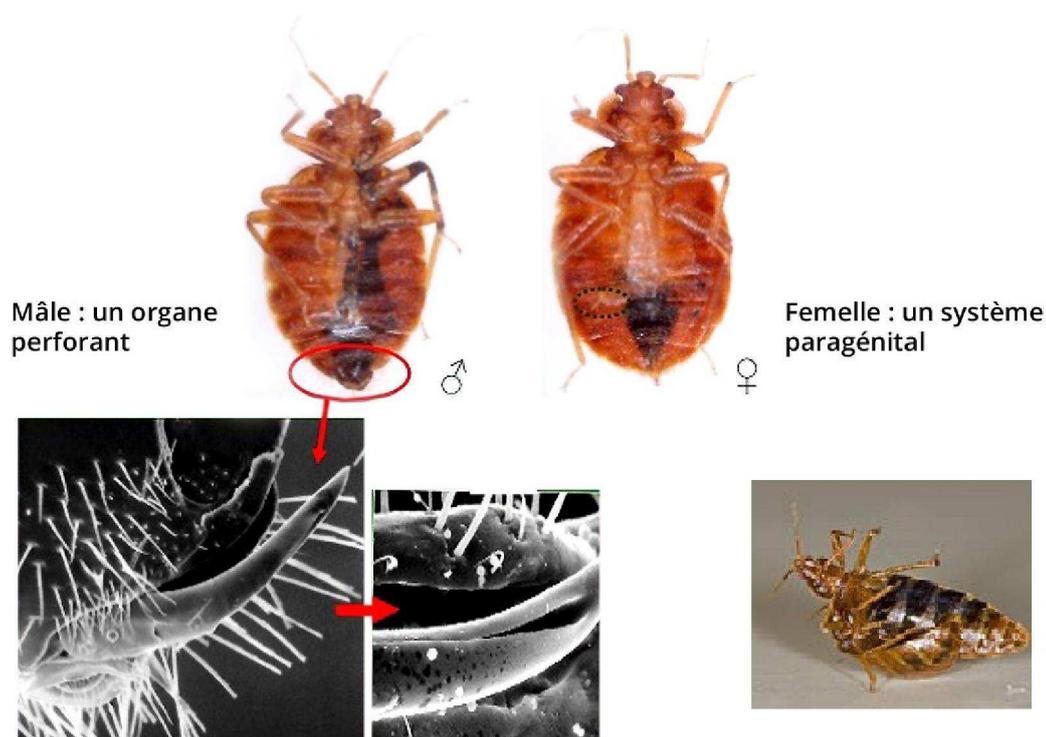


figure 32 : appareil génital mâle et femelle et insémination traumatique, en bas à droite les punaises sont placées sur le dos pour montrer où la femelle est percée par le mâle pendant le transfert (67)

Après fécondation, l'**oviposition** a lieu dans un délai de trois à dix jours et se fait 4 jours après un **repas sanguin** à 27°C. Elle dure sept jours, avec une production totale de **9-10 œufs**. Un nouveau repas sanguin est nécessaire pour produire des œufs supplémentaires.

3.3. Impacts sur la santé humaine

Leur recrudescence fait que certains spécialistes du Centre de collaboration nationale des maladies infectieuses parlent de problème de santé publique, bien que la nuisance soit avant tout liée à leurs piqûres, la transmission de pathogènes n'ayant pas été démontrée. Les piqûres en elles-mêmes sont indolores, mais elles occasionnent des irritations et des démangeaisons cutanées qui peuvent être plus ou moins graves en fonction des individus. Le **stress émotionnel** reste la conséquence la plus sévère liée à ces infestations.

3.3.1. Lésions cutanées

La réaction cutanée va dépendre des individus et varie en fonction du degré d'exposition antérieur. Certains individus après une première piqûre ne vont pas réagir du tout. L'apparition de symptômes cutanés consécutifs à la piqûre chez ceux qui réagissent peut prendre de **7 jours à 20 semaines**. Cependant, le temps de réaction diminue avec des expositions répétées, ainsi certains individus vont réagir dans les secondes qui suivent. Ce **délai de réaction** pose un sérieux problème, les punaises des lits peuvent rester ainsi plusieurs semaines sans être détectées, atteignant des densités auxquelles il devient difficile de s'en débarrasser. De même, cela peut poser des problèmes pour les personnes qui voyagent beaucoup et qui ne pourront pas savoir quel hôtel incriminer.



Figure 33 : photographies séquentielles des lésions suite à une piqûre de punaise des lits entre 30 minutes et 24 heures (78)

(Source : ©The American Journal of Medecine)

Les lésions ressemblent à des piqûres de moustiques, à type de papules érythémateuses indurées, centrées sur un point hémorragique et sont prurigineuses. Les piqûres sont souvent retrouvées sur les **parties découvertes du corps**, visage, cou, extrémités et sont souvent **configurées en grappes ou en lignes**. Le prurit est très intense le matin et diminue pendant la journée. La confusion avec une dermatite de contact allergique ou une dermatite atopique est fréquente. Chez les personnes sensibilisées, les piqûres déclenchent des **démangeaisons violentes** avec un **œdème local**, et des **lésions vésico-bulleuses purpuriques** peuvent apparaître, voire un **urticaire**. Des réactions anaphylactiques graves ont pu être observées.

Les lésions se résorbent en général sous 2 à 6 semaines, mais une hyperpigmentation

post-inflammatoire peut rester de façon permanente. De plus, le **prurit** peut-être à l'origine d'une **surinfection** par *staphylococcus aureus* ou *Streptococcus spp.*



Figure 34 : Les piqûres de punaises des lits. A : lésions typiques maculopapules prurigineuses érythémateuses de 5 mm à 2 cm de diamètre, centrés sur un point hémorragique. B : Piqûres en ligne caractéristiques. C : les lésions sont préférentiellement localisées sur les parties découvertes. D : dans certains cas, les lésions s'apparentent à un urticaire (80)

(Source : ©Oxford University Press)

3.3.2. Anémie

Dans le cas d'infestations sévères des cas d'anémies ferriprives ont pu être rapportées (79).

3.3.3. Transmission de pathogènes

Environ 40 agents pathogènes ont été retrouvés (80) chez *Cimex lectularius*, avec entre autre, les agents de la Leishmaniose, de la trypanosomose, de la rickettsiose, de la pasteurellose, de la peste, de la lèpre, de la brucellose.... Cependant, jusqu'ici, **aucun cas de transmission à l'homme n'a pu être démontrée.**

Ces dernières années, les études se sont surtout concentrées sur l'éventualité de la transmission de deux virus, le virus du Syndrome de l'Immunodéficience humaine Acquis (SIDA) et le **virus de l'hépatite B**. La transmission du virus du SIDA n'a pas été démontrée par les études menées, le virus ne se reproduisant pas à l'intérieur de la punaise des lits et n'ayant pas infecté des cellules saines lors du repas sanguin. Quant au virus de l'hépatite, si sa capacité à proliférer dans les punaises n'a pas été mise en évidence, il est retrouvé au

moins **pendant deux mois dans leurs fèces** et il persiste après la mue. Les punaises des lits défèquent après chaque repas sanguin, les hôtes pourraient se contaminer en se grattant, ou être contaminés en raison de la proximité entre la lésion liée à la morsure et les fèces. Jusqu'ici, aucune étude n'a démontré une telle transmission.

3.3.4. Troubles psychologiques

L'impact le plus grave suite à une infestation par des punaises des lits va être l'**anxiété**. Se réveiller avec deux cents insectes sur le corps en train de se nourrir, est extrêmement traumatisant... De nombreuses personnes deviennent **insomniaques** suite à une infestation, par peur d'être de nouveau attaquées quand elles seront endormies. Certaines vont même pouvoir déclencher une **forte dépression**, allant parfois jusqu'au **suicide**. Suite à une infestation un **suivi psychologique** va souvent s'avérer nécessaire (**79,81**).

La peur de ces insectes va pouvoir être à l'origine d'un **délire dermatozoïque**, ou **syndrome d'Ekbom**, qui correspond à un délire d'infestations cutanées dans lequel la personne a la conviction d'être infestée en permanence par les parasites.

Les punaises des lits sont des insectes insidieux que l'on découvre bien souvent trop tard. Les moyens employés pour lutter contre leur prolifération vont dépendre du taux d'infestation.

3.4. Méthodes de lutte

La lutte contre les punaises des lits est complexe et doit être menée conjointement sur cinq axes selon les recommandations gouvernementales (**76, 82**) :

- 1 : Interrogatoire épidémiologique et clinique des patients
- 2 : Recherche active de l'insecte
- 3 : Lutte mécanique
- 4 : Lutte chimique réalisée par un professionnel
- 5 : Prévention

3.4.1. Interrogatoire épidémiologique et clinique des patients

Il consiste à comprendre l'**historique des nuisances**, date du tout début des piqûres et date des fortes nuisances, et à s'informer des emplacements sur le corps des points de piqûres afin de mieux différencier les sites contaminés, des sites non contaminés et

permettre de cibler les pièces infestées.

3.4.2. Recherche active de l'insecte

3.4.2.1. Recherche visuelle

On va rechercher des signes d'infestation : tâches brunes laissées par les défécations sur les draps et le matelas, odeur âcre lors de fortes infestations, corps d'insectes morts ou mues près des endroits où les punaises des lits se cachent. L'insecte doit être formellement identifié. Il sera recherché dans tous les endroits où il peut se cacher. Il va falloir retourner tous les meubles, matelas, vérifier toutes les plinthes, les bouts de tapisserie décollés, tringles à rideau, bref tout ce qui peut constituer un abri. La détection visuelle est **longue et laborieuse** et ne permet pas toujours de détecter l'insecte.

3.4.2.2. Les pièges mécaniques comme outils de détection

De nombreux pièges vont être destinés à être placés au pied du lit. Pour que le piège soit utile, il faudra éloigner le lit du mur pour s'assurer que la punaise des lits ne passe pas par un autre chemin. Ainsi un piège facile à réaliser soit même consiste à placer le pied du lit dans une gamelle haute, que l'on dispose dans une gamelle moins large et plus haute. La gamelle extérieure peut être recouverte de tissu afin de faciliter la montée des punaises des lits, et à l'intérieur elle sera recouverte de talc afin d'empêcher les punaises de sortir. De la Terre de Diatomée, insecticide naturel contre les punaises des lits, peut également être associée au talc. La Terre de Diatomée est composée des squelettes durs des algues, et a une action abrasive fatale **(47)**.

Un autre piège consiste à placer un thermos au centre d'un récipient, et à y introduire de la neige carbonique, on joue ainsi sur l'attraction des punaises des lits vis à vis du dioxyde de carbone (voir figure 33 ci-contre). Les punaises de lit sont capables de localiser un hôte à une distance de 150 cm. Les pièges à dioxyde de carbone sont efficaces, même pour de faibles quantités de punaises. Leur efficacité est augmentée par l'application d'un mélange attractif contenant du nonanal, de l'1-octen-3-ol, et des huiles essentielles de menthe verte et de coriandre égyptienne (L-carvone) **(83)**. La chaleur quant à elle ne semble pas améliorer l'efficacité du piège.

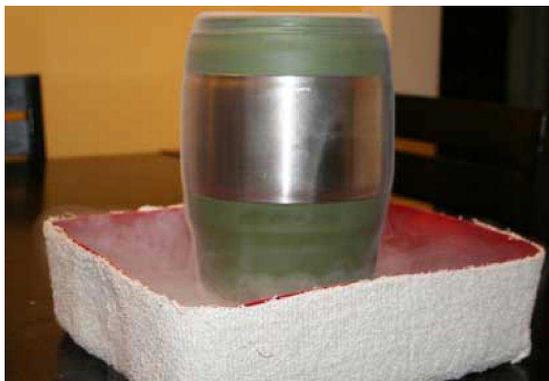


Figure 35 : exemple d'un piège avec de la neige carbonique, image montrant la diffusion du gaz carbonique **(84)**

(Source : badbedbugs.com)

D'autres types de pièges sont disponibles dans le commerce, un morceau de carton replié, mimant un refuge, enduit de colle à l'intérieur pour empêcher les punaises d'en sortir. Une autre variante consiste à augmenter l'attraction des insectes à l'aide des phéromones d'agrégation obtenues grâce à des déjections et des corps de punaises que l'on écrasera à l'intérieur du carton.

Depuis des centaines d'années des pays du Sud-Est de l'Europe utilisent des feuilles de haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) pour piéger les punaises des lits. Les scientifiques ont pu mettre en évidence que les trichomes, poils en forme de crochets situés à la surface des feuilles les piègent. Elles se retrouvent immobilisées. S'inspirant de la nature, ils ont fabriqué un tissu imitant ses poils : le **fibertrap (85)**.

Ces pièges ont l'avantage de constituer un moyen de détection mais également un moyen de lutte physique.

3.4.2.3. Les chiens détecteurs

La punaise de lit a une odeur spécifique âcre et désagréable, qui va facilement pouvoir être repérée par le chien. La sensibilité des chiens est de 95% contre 35 à 45% pour l'homme dans la détection des punaises des lits **(86)**. Un avantage certain est qu'il va permettre de différencier les zones infestées des zones non infestées et éviter d'avoir à retourner toute la maison.

/

3.4.3. La lutte mécanique

Elle a l'avantage de n'offrir aucune résistance, contrairement aux insecticides qui sont de moins en moins efficaces actuellement, comme nous le verrons dans le prochain chapitre.

3.4.3.1. Préparation

Face à une invasion par des punaises des lits, certaines mesures sont à mettre en place afin de faciliter le traitement proprement dit.

Tout le linge de maison devra être **lavé en machine** à une température d'au moins **60°C** avant d'être stocké dans des sacs hermétiquement fermés. Un passage au sèche-linge à haute température est vivement recommandé pour les articles de petite taille ne supportant pas le lave linge ou nécessitant un nettoyage à sec. Ne pas oublier les peluches qui doivent être lavées à 60°C également et seront conservées dans un sac hermétiquement fermé pour s'assurer de leur décontamination.

Passer minutieusement l'**aspirateur** va permettre de diminuer la charge parasitaire en aspirant les œufs, les larves et adultes, par contre il faut être très vigilant car l'aspirateur ne tue pas les punaises des lits qui peuvent ressortir par la suite. Il est recommandé de passer un coup de brosse au préalable afin de décoller les œufs et les punaises qui adhèrent au bois et au tissu. Son contenu devra être emballé soigneusement dans un sac fermé hermétiquement et sera jeté en dehors du logement. L'aspirateur peut être traité en aspirant de la poudre insecticide destinée à tuer les fourmis. Pour des personnes allergiques, un aspirateur équipé d'un filtre HEPA (High Efficiency Particulating Filter) **(87)** qui arrête les particules inférieures à 0.3 microns est recommandé. L'aspirateur devra être minutieusement nettoyé à l'eau chaude et à l'aide de détergents.

Il va falloir **éliminer toute cachette potentielle**, donc décrocher poster et tableau des murs. Il faut vider les meubles et les éloigner du mur. Le lit doit être éloigné du mur d'au moins 30 cm. Le matelas sera retiré du lit et adossé à un mur, s'il est en mauvais état (couture décousues ou déchirées), ne pas hésiter à en changer.

3.4.3.2. Traitement par le froid

La congélation peut être effectuée pour des petits objets, tels que les livres, les revues, les vêtements, les accessoires qui seront mis en poche avant d'être mis au congélateur pendant une durée d'au moins deux à quatre jours **(66, 72, 88)**. Mais son **efficacité est remise en question**, certaines punaises pourraient survivre au processus. Une température de -18°C pendant une à deux semaines seraient nécessaires pour éliminer tous les stades **(89)**.

Les traitements par l'**azote liquide** (-195.79°C) et la **neige carbonique** (-78°C) sont d'une **grande efficacité**, ils agissent sur tous les stades. Ils restent cependant assez délicats à mettre en place et demandent l'intervention d'un **professionnel**. Leurs inconvénients sont qu'ils ne garantissent pas une homogénéité de température, qu'ils n'agissent pas en profondeur et sont d'un coût élevé.

3.4.3.3. Traitement par la chaleur

Tous les stades des punaises de lit : œufs, larves et adultes sont tués par une **chaleur supérieure à 45°C**. Les traitements par la chaleur permettent donc d'éliminer tous les stades de ces parasites.

3.4.3.3.1. Traitement par la vapeur

Le traitement à la machine vapeur consiste à passer un **jet de vapeur d'au moins 100°C** sur toutes les surfaces pouvant être contaminées. Cette température est létale pour tous les stades de la punaise des lits (**90**). La difficulté dans ce traitement est que chaque interstice doit être passé à la vapeur, seules les punaises des lits atteintes par la vapeur mourront, il faut donc déplacer très lentement le nettoyeur pour permettre un nettoyage en profondeur. Pour éviter l'apparition de moisissures, le matériel doit pouvoir produire un flux de vapeur d'un minimum de 165°C à 7 bars de pression, cependant il est préférable d'utiliser des unités de traitement professionnel utilisant la vapeur sèche (**91**). Son efficacité sera insuffisante si l'infestation est trop importante, il est **souvent utilisé en complément** d'autres méthodes.

3.4.3.3.2. Traitement thermique

Il est réalisé à l'aide de plusieurs réchauffeurs électriques industriels et de ventilateurs à convection (voir figure 34 ci-après). L'efficacité du traitement thermique va dépendre de la température et du temps d'exposition, ainsi à 45°C, la punaise meurt après 90 minutes, à 48°C, après 20 minutes. Les œufs par contre sont plus résistants, il faudra chauffer 90 minutes à 48°C pour obtenir un taux de mortalité de 100% (58). Plus la température est élevée, plus l'action de la chaleur est rapide. En général, une température de 50°C (122°F) est utilisée, à cette température, il faut 5 à 10 minutes pour tuer les adultes et larves, 1 heure pour tuer les œufs.

La montée en température devra se faire de façon progressive afin de préserver le matériel électronique et les meubles. La montée en température prendra 5 à 6 heures pour atteindre les **50°C**, qui seront maintenus **pendant 1 heure au moins**, puis il faudra encore compter 3 à 4 heures pour qu'elle redescende (**87**). Le traitement complet dure donc entre 8 et 12 heures. Des systèmes de contrôle de la chaleur placés dans des endroits stratégiques permettent de vérifier que la température est bien atteinte partout.

Il reste le traitement **le plus respectueux de l'environnement et le plus efficace. Un seul traitement** suffit pour venir à bout de l'invasion. Son inconvénient majeur reste son **coût extrêmement élevé**, jusqu'à 6 fois plus cher qu'un traitement chimique.



Figure 36 : ventilateurs à convection et réchauffeurs électriques utilisés dans le traitement thermique (73)
(Source : Department of Entomology, Virginia Tech)

3.4.4. La lutte chimique

Autrefois décrite comme un complément indispensable à la lutte physique, elle est **aujourd'hui très décriée** devant le nombre de **résistances croissantes** des punaises des lits. Elle présente toutefois l'avantage d'une rémanence mais nécessite contrairement aux méthodes physiques de refaire un traitement dans les 21 jours, les **œufs étant résistants aux insecticides**.

3.4.4.1. Les insecticides naturels

3.4.4.1.1. La Terre de diatomée

La Terre de diatomée dont nous avons parlé plus haut (cf 2.4.4.1.1), est **très efficace**. Elle exerce une action mécanique et est à utiliser en complément d'une autre méthode. Il va falloir en mettre de petites quantités au niveau des plinthes, des pieds du lit, partout où l'on soupçonne les punaises des lits de passer. Attention de trop grosses quantités ont un effet répulsif.

3.4.4.1.2. L'acide borique

Il sera appliqué avec précaution sur les lieux de passage des punaises : au niveau des sols, des moulures, des plinthes, des fissures... Il va tuer l'insecte en le brûlant.

3.4.4.1.3. Les insecticides "biologiques"

Des insecticides à base de substances naturelles comme les plantes ou les huiles essentielles sont de plus en plus proposés sur le marché, comme par exemple l'insecticide 4J tous insectes Penn'Ty Bio, basé sur un mélange de pyrèthre végétal et d'huile essentielle de lavandin. Bien que l'efficacité du pyrèthre soit reconnue, il agit directement sur le système nerveux central des insectes, ces produits sont **à éviter** car ils pourraient avoir un **effet plus répulsif que curatif**. Lors de leur utilisation il conviendra de les appliquer sur les zones de passage des punaises des lits. De plus, l'utilisation d'un pyrèthre seul ne peut qu'augmenter les phénomènes de **résistance**. L'utilisation des insecticides quels qu'ils soient doit être laissée aux soins des **professionnels (92, 93)**.

3.4.4.2. Les insecticides

Seuls les **professionnels** devraient appliquer des produits insecticides du fait de leur **toxicité** et des problèmes croissants de **résistance** à leur égard. Pour limiter le risque d'apparition de résistance, il est recommandé d'utiliser **deux insecticides** voire **trois (69)**. Généralement un **insecticide d'action rapide**, type pyréthrianoïde est associé à un **insecticide d'action lente**, comme un inhibiteur de croissance. Cependant de plus en plus de punaises des lits ont développé des résistances aux pyréthrianoïdes **(94)**, et les professionnels préfèrent utiliser aujourd'hui le **Chlorfénapyr** qui mettra une dizaine de jours à agir. Après un tel traitement, il faudra attendre au moins 6 heures avant de réinvestir les lieux, 24 heures pour les femmes enceintes, 48 h pour marcher pieds nus.

Un seul traitement est généralement insuffisant, en général, il faut **recommencer dans les 15 à 20 jours** qui suivent pour s'assurer que les œufs qui auraient pu éclore ne donnent pas lieu à une nouvelle infestation.

La fumigation peut également être envisagée par les professionnels, elle présente l'avantage d'émettre un brouillard qui va pouvoir pénétrer dans les endroits difficiles comme les fentes des murs. Une **fumigation** à base de fluorure de sulfuryle est efficace sur tous les stades, œufs y compris, et peut produire une **mortalité de 100% après un seul traitement**. Par contre les résidents doivent évacuer les lieux pendant plus longtemps.

Le **chlorfénapyr** est un insecticide à base de pyrrole. Il est doté de propriétés résiduelles et possède un mécanisme d'action lente, il est souvent utilisé pour remplacer les pyréthrianoïdes pour lesquelles une résistance croissante a pu être constatée. Il réduit de 86% la population des punaises des lits après 8 semaines. Ses résidus secs sont encore pleinement efficaces après 4 mois **(95)**. Il présente l'avantage de ne pas avoir d'effet répulsif, par contre, des œufs et des nymphes ont pu survivre après 14 jours d'exposition.

Bien qu'ils aient une certaine rémanence, les insecticides ne protégeront pas d'une

éventuelle future infestation.

La liste des insecticides utilisés dans la lutte contre les punaises des lits selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) (2006) est fournie en annexe (**Tableau VI**).

3.4.5. Prévention

Il n'existe pas de prévention idéale, mais suite à une invasion par des punaises des lits et à un traitement, certaines mesures peuvent permettre d'éviter leur retour. Une **réfection des lieux** afin de limiter le nombre de refuges comme recoller les papiers peints, colmater les trous au niveau des plinthes, des lambris, doit être envisagée. La **Terre de Diatomée** peut également être utilisée en prévention en en mettant de petites quantités dans des endroits potentiels de passage.

Des housses de matelas entièrement étanches vont permettre de prévenir une infestation de celui-ci par les punaises des lits.

Suite à un traitement les **pièges** décrits dans la partie concernant la détection pourront être mis en place afin de déceler au plus tôt toute nouvelle infestation.

Il conviendra de se débarrasser des objets présumés infestés de façon à ce qu'ils ne puissent pas être récupérés. Tout objet de seconde main devra être attentivement examiné.

3.5. Les ennemis naturels (75) : la lutte biologique

Plutôt que d'utiliser des insecticides qui ne ciblent pas précisément les punaises des lits, mais nuisent à l'ensemble de l'écosystème de la maison et à l'environnement, il est intéressant de voir quels sont les ennemis naturels. Peut-être un jour seront-ils mis à la disposition du grand public comme méthode de lutte, tout comme en agriculture biologique.

3.5.1. *Scutigera coleoptrata* ou scutigère véloce

Prédateur commun des blattes et des punaises des lits, la scutigère véloce affectionne particulièrement les endroits humides. C'est un allié précieux dans la lutte contre de nombreux nuisibles du domicile (cf 2.5.1).

3.5.2. Les Réduvidées

Les réduves sont autrement appelées **punaises assassines (96)**, ce sont des insectes carnivores qui chassent pour se nourrir. La grande majorité des réduves élimine des insectes nuisibles et sont donc considérés comme utiles. Les autres se nourrissent de sang

et sont considérées comme nuisibles.

3.5.2.1. *Reduvius personatus* ou réduve masquée

La réduve masquée (*Reduvius personatus*) est la plus commune des punaises assassines. On la retrouve dans tout l'hémisphère Nord, où elle est généralement associée avec les habitations, mais on peut la retrouver dans la nature. Les formes juvéniles sécrètent une matière collante qui retient les débris, leur permettant de se camoufler parmi les poussières des maisons. C'est de là qu'elle tire son nom. Les adultes et larves sont munis d'un rostre puissant et acéré, qui provoque une piqûre réputée fort douloureuse, mais le risque est quasi nul pour l'homme, cet insecte n'étant pas agressif.

Elles se nourrissent de nombreux insectes nuisibles tels que les punaises des lits, les poissons d'argent, les mouches. Elles ont un bon potentiel dans la lutte biologique (97).



Figure 37 : Larve de réduve masquée couverte de poussière (98)
(Source : ©andré lequet, <http://www.insectes-net.fr/index.htm>)



Figure 38 : réduve masquée adulte (98)
(Source : ©**andré lequet**, <http://www.insectes-net.fr/index.htm>)

3.5.2.2. *Ploiaria domestica*



Figure 39 : *Ploiaria domestica*
(Source : Wikipédia, Joaquim Alves Gaspar, ©**Alvesgaspar**, 2009)

3.5.3. Les Formicidées

La famille des fourmis n'est pas citée ici en tant que solution pour mener une lutte biologique. Espèces très envahissantes, elles sont considérées comme nuisibles et il est extrêmement difficile de s'en débarrasser.

3.5.3.1. *Monomorium pharaonis* ou fourmi pharaon

La fourmi pharaon est une espèce originaire d'Afrique occidentale. Espèce invasive, elle est devenue cosmopolite, c'est la plus commune des fourmis d'intérieur. De très petite taille, elle mesure à peine deux millimètres. Elle a la particularité de posséder plusieurs reines par colonies, formant des réseaux de nids interconnectés. Cela est rendu possible par une absence de comportement territorial. Les reines peuvent survivre avec seulement dix ouvrières, et développer rapidement une grosse colonie. S'il n'y a plus de reine, mais qu'il reste des œufs, les œufs haploïdes sont capables de se développer en fourmi mâle et les œufs diploïdes qui en présence d'une reine donnent des ouvrières, donnent naissance à des reines. La reproduction s'effectue à l'intérieur de la colonie, ce qui représente un avantage supplémentaire (99).



Figure 40 : *Monomorium pharaonis* (100)
(Source : BugGuide, ©Heyrod 2009)

3.5.3.2. *Linepithema humile* ou fourmi d'Argentine

Espèce originaire d'Amérique du Sud, elle s'est aujourd'hui répandue dans le monde entier. Elle pose de graves problèmes au niveau écologique car elle élimine les espèces en place. De petite taille de 2 à 3 mm, elle se multiplie comme la fourmi pharaon.



Figure 41 : *Linepithema humile*
(Source : ©Joyce Gross, 2004, <http://joycegross.com/index.php>)

3.5.3.3. *Myrmica rubra* ou fourmi rouge

La très connue fourmi rouge. De petite taille, de 3 à 5 mm, elle possède un aiguillon fonctionnel dont elle n'hésite pas à se servir.



Figure 42 : *Myrmica rubra* (100)
(Source : ©Peter Cristofono, 2008, <https://www.flickr.com/photos/adamantine/>)

3.5.4. Les arachnides

3.5.4.1. *Chelifer cancroides* ou scorpion des livres

Cosmopolite, le scorpion des livres doit son nom à sa ressemblance à un minuscule scorpion sans queue et au fait qu'il vit fréquemment dans les maisons et notamment dans les livres. De très petite taille, il mesure de 3 à 4 mm de long. Ses pédipalpes sont presque deux fois plus grandes que ses pattes, quand ils sont étendus, il mesure de 7 à 9 mm **(101)**. Il est inoffensif et se nourrit de petits arthropodes, chenilles, mouches, fourmis, larves de cafards, punaises des lits... La présence de pseudoscorpions est signe d'une atmosphère humide ou de la présence d'autres arthropodes dont ils se nourrissent. Ils ne représentent aucunement un danger, au contraire, ils sont très utiles.



Figure 43 : *Chelifer cancroides*
(Source : Wikipedia, ©Christian Fischer, 2008)

3.5.4.2. *Eremobates pallipes*

C'est un genre de solifuges (qui fuit le soleil) qui ne se rencontre qu'en Amérique du Nord et en Amérique centrale. Il vit dans des climats chauds et secs. Les mâles mesurent de 15 à 26 mm, les femelles, plus larges, de 22 à 32 mm. Les chélicères sont particulièrement proéminents.



Figure 44 : *Eremobates pallipes* couché sur le dos : mise en évidence des chélicères **(100)**

(Source : BugGuide, ©Denver Museum of Nature and Science/ Chris Grinter, 2000)

Carnivore, il consomme d'autres insectes, parfois même des petits vertébrés, des petits lézards par exemple. La femelle est réputée pour avoir un appétit insatiable, et mangera même ses congénères, plus particulièrement le mâle après l'accouplement. Inoffensif pour l'homme, il peut parfois le mordre s'il se sent en danger. Il représente un outil précieux dans le contrôle des populations de nuisibles, s'attaquant à beaucoup d'insectes **(102)**.

3.5.4.3. *Steatoda bipunctata*

Espèce qui se rencontre en zone Holarctique (régions situées au Nord du tropique du Cancer). De petite taille, les mâles mesurent environ 5 mm, les femelles jusqu'à 7 mm **(103)**. Elle est habituellement retrouvée dans les habitations, on la trouve également dans les enclos, dans les garages, dans les terriers de lapins. Elle est également appelée araignée des lapinières. Elle est inoffensive pour l'homme. Elle doit son nom aux deux points qu'elle porte sur son abdomen.



Figure 45 : *Steatoda bipunctata* (104)
(Source : ©Trevor and Dilys Pendleton, 2009)

3.5.5. *Pyemontes ventricosus*

Ce sont des acariens que l'on retrouve fréquemment dans divers produits végétaux. Prédateurs de divers insectes, ils percent leur cuticule avec leurs pièces buccales et se nourrissent de l'hémolymphe. Ils s'attaquent à tous les stades de leurs proies. Avant de se fixer, ils injectent une toxine qui provoque une paralysie rapide de l'hôte, qui meurt dans les 24 heures (105). L'homme et l'animal sont contaminés surtout lors d'un contact accidentel avec du matériel biologique contaminé (foin, paille, grains, bois...). Chez l'homme ils provoquent une dermatite atypique temporaire. La plupart des cas surviennent entre mai et septembre, ce qui correspond à la période de plus grande activité de l'acarien, pendant laquelle il peut parcourir de grandes distances. Les femelles mesurent 0.2 à 0.3 mm, les mâles 0.16 mm. Il a été à l'origine d'une épidémie de dermatites dans le Sud de la France lors des étés 2006 et 2007 (106).



Figure 46 : *Pyemontes ventricosus* (106)
(Source : ©Emerging infectious Disease)

Conclusion

La lutte contre les blattes va surtout faire appel à des mesures d'hygiène et de prévention en limitant le nombre potentiel de gîtes et les points d'entrée dans la maison. Elles possèdent un grand nombre de prédateurs, plus ou moins aisés à conserver chez soi, mais sur lesquels il est intéressant de réfléchir. Parmi eux, la scutigère véloce qui ne s'installera pas si elle n'a pas une de ses nombreuses proies à disposition, proies pour la plupart considérées comme nuisibles. Les punaises des lits quant à elles, sont un peu plus problématiques, de fortes invasions vont nécessairement faire appel à la mise en place de traitements. Il est d'ailleurs regrettable de constater, que le traitement thermique, plus efficace, qui ne nécessite qu'un seul passage (si les mesures d'hygiène et d'éviction de foyers potentiels ont été mises en place correctement) et qui est le plus respectueux de l'environnement, est trois à six fois plus cher que le traitement chimique, qui lui nécessite en général un deuxième traitement. Traitement chimique qui en plus d'augmenter le phénomène de résistance, nuit à l'environnement **(107)** et à la santé humaine.

La compréhension du fonctionnement des écosystèmes et des facteurs favorisant les invasions biologiques, offrent un cadre de réflexion intéressant quant à la gestion des espèces invasives. Les mécanismes favorisant la biodiversité et l'importance des relations interspécifiques dans son maintien amènent à se questionner sur l'impact des activités humaines. Le temps de réaction d'un écosystème face à la disparition d'une espèce peut ne pas être immédiat, et nous pourrions très bientôt avoir à faire face à une extinction massive en réponse aux pertes déjà constatées. Le problème du réchauffement climatique et d'un cadre de vie favorisant l'implantation d'espèces jusque là transitoires, n'est pas à prendre à la légère. L'exemple des *Aedes*, qui petit à petit réussissent à s'établir sur le territoire français, doit rapidement amener à revoir la politique de lutte contre les moustiques.

Chaque espèce a son importance, et un aspect peu engageant n'est pas synonyme de nuisance, c'est le cas de la scutigère véloce qui est un allié précieux dans la lutte contre de nombreux nuisibles du domicile.

Pour conclure, une citation de Gilles Pipien et Serge Morand : "C'est en détruisant les écosystèmes, en perturbant le fonctionnement du vivant, en diminuant la biodiversité que nous mettons notre santé en danger. Et c'est en renouant avec la nature que nous pourrons la préserver.... La santé du vivant, c'est notre santé!" **(2)**.

Annexes

Espèces	Intérieur/ extérieur	Habitats préférentiels	T°C idéales % humidité	Taille adulte (mm)	Durée de vie adultes (jours)	Intervalle généra- tionnel (jours)	Oothèque : nombre d'œufs et taille (mm)
<i>Blatella germanica</i>	Intérieur	Zones de préparation d'aliments, cuisines, zones de stockages d'aliments, salles de bain, zones chaudes et humides	20-26.7°C 60-80%	10-15	♀ 153 ♂ 128	♀ 41 ♂ 40 5-7 mues	5 à 8 oothèques 30 à 48 œufs (8 mm)
<i>Periplaneta americana</i>	Intérieur/ extérieur	Égouts, tunnel à vapeur, parcs zoologiques, serres, zones chaudes et humides	24-31°C 70-80%	34-40	♀ 125-706 ♂ 125-362	♀ 150-450 9-13 mues	30 à 50 oothèques 10 à 20 œufs (8 mm)
<i>Blatta orientalis</i>	Intérieur/ extérieur	Végétation dense, compteurs d'eau, vide sanitaire, sous-sols, lieux humides et frais	20-29°C 70-80%	25-30	♀ 34-181 ♂ 112-160	♀ 216 ♂ 185 9-10 mues	8 à 12 oothèques 12 à 16 œufs (10 mm)
<i>Supella longipalpa</i>	Intérieur	Armoires, lieux de stockage, placards, élevages animaliers, lieux chauds	26-30°C 60%	11-14	♀ 60 ♂ 115	♀ 56 ♂ 54 7 mues	10 à 13 oothèques 6 à 12 œufs (4-5 mm)

Tableau I : Caractéristiques biologiques et paramètres biologiques des quatre espèces de blattes invasives en France (43)

(Source : Cornwell (1968), Ebeling (1975), Appel & Smith (2002))

<p>Bactéries</p>	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Alcaligenes faecalis</i>, -<i>Bacillus subtilis</i>, -<i>Campylobacter enteritis</i>, <i>C. jejuni</i>, -<i>Clostridium novyi</i>, <i>C. perfringens</i>, -<i>Enterobacter aerogenes</i>, -<i>Escherichia coli</i> (<i>B. orientalis</i> ; <i>B. germanica</i>), -<i>Listeria monocytogenes</i> (<i>B. orientalis</i>), -<i>Mycobacterium leprae</i>, -<i>Nocardia</i> spp, -<i>Proteus mirabilis</i>, <i>P. morgani</i>, <i>P. rettgeri</i>, <i>P. vulgaris</i>, <i>Pseudomonas aeruginosa</i>, -<i>Salmonella</i> spp. (<i>B. germanica</i>, <i>P. americana</i>, <i>S. longipalpa</i>), <i>S. bareilly</i>, <i>S. bovismorbificans</i>, <i>S. bredeney</i>, <i>S. enterica</i> sérotypes Oranienburg et Panama, <i>S. enteritidis</i> (<i>B. orientalis</i>), <i>S. newport</i>, <i>S. paratyphi B</i>, <i>S. typhimurium</i> (<i>B. germanica</i>, <i>P. americana</i>, <i>B. orientalis</i>), -<i>Serratia marcescens</i>, -<i>Shigella dysenteriae</i>, -<i>Staphylococcus aureus</i>, -<i>Streptococcus faecalis</i>, <i>S. pyogenes</i>, -<i>Vibrio</i> spp, -<i>Yersinia pestis</i>
<p>Champignons et moisissures</p>	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Alternaria</i> spp, -<i>Aspergillus niger</i>, <i>A. flavus</i>, <i>A. fumigatus</i>, -<i>Candida krusei</i>, <i>C. parapsilosis</i>, <i>C. tropicalis</i>, -<i>Cephalosporium acremonium</i>, -<i>Cladosporium</i> spp., -<i>Fusarium</i> spp, -<i>Geotrichum candidum</i>, -<i>Mucor</i> spp., -<i>Penicillium</i> spp., -<i>Rhizopus</i> spp., -<i>Trichoderma viride</i>, -<i>Trichosporon cutaneum</i>
<p>Helminthes</p>	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Ancylostoma duodenale</i>, -<i>Ascaris lumbricoides</i>, <i>Ascaris</i> spp., -<i>Enterobius vermicularis</i>, -<i>Hymenolepis</i> spp., -<i>Necator americanus</i>, -<i>Trichuris trichiura</i>
<p>Protozoaires</p>	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Entamoeba histolytica</i>, -<i>Giardia</i> spp.
<p>Virus</p>	<ul style="list-style-type: none"> -<i>Poliomyelitis</i>

Tableau II : Liste des organismes pathogènes isolés à partir des cafards (43)
(Source Brenner, 1995)

Insecticide	Classe chimique	Formulation	Concentration (g/l ou g/kg)	Risque chimique
Bendiocarbe	Carbamate	Spray, Poudre, Aérosol	2.4-4.8 10	II
Hydramethylnon	Hydrazone	Appât	21.5	III
Acide borique	Inorganique	Appât	1-100%	-
Fenoxycarbe	IGR	Spray	1.2	U
Flufénoxurone	IGR	Spray	0.3	U
Pyriproxifène	IGR	Spray	0.4-1.0	U
Hydroprène	IGR	Spray	0.1-0.6	U
Dinotefurane	Néonicotinoïde	Appât Spray	0.2-1.0 0.5	NC
Imidaclopride	Néonicotinoïde	Appât	1.85-2.15	II
Chlorpyrifos	Organophosphate	Spray Aérosol Poudre Appât Microcapsule	5 5-10 10-20 5 2-4	II
Chlorpyrifos-méthyle	Organophosphate	Spray	7-10	U
Diazinon	Organophosphate	Spray Poudre Microcapsule	5 20 3-6	II
Fenitrothion	Organophosphate	Spray Aérosol Appât Microcapsule	10-20 5 50 2.5-5	II
Malathion	Organophosphate	Spray Poudre	30 50	III
Pirimiphos-méthyl	Organophosphate	Spray Poudre	25 20	III
α-Cyperméthrine	Pyréthriinoïde	Spray	0.3-0.6	II
β-Cyfluthrine	Pyréthriinoïde	Spray	0.25	II
Bifenthrine	Pyréthriinoïde	Spray	0.48-0.96	II
Cyfluthrine	Pyréthriinoïde	Spray Poudre Aérosol	0.4 0.5 0.2-0.4	II
Cyphénothrine	Pyréthriinoïde	Poudre, Spray, Aérosol	1-3	II
D.D-trans-Cyphenothrine	Pyréthriinoïde	Spray Aérosol Microcapsule	0.5-1.5	NC
Deltaméthrine	Pyréthriinoïde	Spray Poudre Aérosol	0.3 0.5 0.1-1.25	II
Esfenvalérate	Pyréthriinoïde	Spray	0.5-1	II
Etofenprox	Pyréthriinoïde	Spray Poudre Aérosol	5-10 5 0.5	U
λ-cyhalothrine	Pyréthriinoïde	Spray	0.15-0.3	II
Perméthrine	Pyréthriinoïde	Spray Poudre Aérosol	1.25-2.5 5 2.5-5	II
Fipronil	Arylpyrazole	Appât	0.1-0.5	II
Sulfuramide	Sulfonamide	Appât	10	III

Tableau III : Insecticides utilisables dans la lutte contre les blattes (17)

(Source : WHO, 2006) IGR : Régulateurs de croissance de l'insecte

II : modérément dangereux, III : plutôt dangereux, U : pas de danger dans les utilisations normales
d/pas de danger dans les utilisations normales d'utilisation, NC : non connu

Sous-familles	Genres	Nombre d'espèces	Hôtes principaux	Répartition des sous-familles
Afromicinae	<i>Afrocimex</i>	3	Chauves-souris	Afrique
Latromicinae	<i>Latrocimex</i>	1	Chauves-souris	Néotropicale
Primicimicinae	<i>Bucimex</i> <i>Primicimex</i>	2	Chauves-souris	Néotropicale, Sud des États-unis
Cimicinae	<i>Bertilia</i> <i>Cimex</i> <i>Oeciacus</i> <i>Paracimex</i> <i>Propicimex</i>	39	Chauves-souris, oiseaux, homme	Mondiale (<i>Cimex</i> cosmopolite)
Cacodminae	<i>Aphrania</i> <i>Cacodmus</i> <i>Crassimidex</i> <i>Leptocimex</i> <i>Loxaspis</i> <i>Passicimex</i> <i>Stricticimex</i>	39	Chauves-souris	Afrique et Asie
Haemosiphoninae	<i>Caminicimex</i> <i>Cimexopsis</i> <i>Haemosiphon</i> <i>Hesperocimex</i> <i>Ornithocoris</i> <i>Psitticimex</i> <i>Synxenoderus</i>	10	Oiseaux	Néarctique Néotropicale

Tableau IV : Les six sous-familles et les 23 genres de *Cimidae* (76)

Temps d'un repas sanguin	10-20 mn
Temps entre deux repas sanguins, extrêmement variable (jusqu'à 2 ans)	3-15 jours
Espérance de vie d'un adulte	6-24 mois
Nombre total d'œufs pondus par une femelle adulte	200-500 œufs
Rythme de ponte d'une femelle adulte	5 à 15 œufs/ jour
Temps du cycle de vie (œuf à œuf)	40-70 jours
Délai de ponte après fécondation	3-10 jours
Temps d'éclosion des œufs	7-15 jours
Temps entre deux stades larvaires (repas sanguin obligatoire)	3-15 jours

Tableau V : Résumé des principales caractéristiques biologiques
des punaises des lits **(76)**

(Source : Muséum d'histoire naturelle)

Insecticide	Classe chimique	Formulation	Concentration (g/l ou g/kg)	Risque chimique
Bendiocarbe	Carbamate	Spray, Poudre	2.4-4.8	II
Flufénoxurone	IGR	Spray	0.3	U
Méthoprène	IGR	Spray, Aérosol	0.9	U
Chlorpyrifos	Organophosphate	Spray, Aérosol, Poudre	2-5	II
Malathion	Organophosphate	Spray, Poudre	20	III
Pirimiphos-methyl	Organophosphate	Spray, Poudre	10	III
α-Cyperméthrine	Pyréthriinoïde	Spray	0.3-0.6	II
β-Cyfluthrine	Pyréthriinoïde	Spray	0.25-0.5	II
Bifenthrine	Pyréthriinoïde	Spray	0.48-0.96	II
Cyfluthrine	Pyréthriinoïde	Spray, Poudre, Aérosol	4	II
Cyperméthrine	Pyréthriinoïde	Spray, Poudre, Aérosol	0.5-2	II
Cyphénothrine	Pyréthriinoïde	Poudre, Spray, Aérosol	0.5-1	II
Deltaméthrine	Pyréthriinoïde	Poudre, Spray, Aérosol	0.3 (0.5b)	II
Λ-cyhalothrine	Pyréthriinoïde	Spray	0.03	II
Perméthrine	Pyréthriinoïde	Poudre, Spray, Aérosol	1.25	II
D-Phénothrine	Pyréthriinoïde	Poudre, Spray, Aérosol	1.0-2.0	U
Resméthrine	Pyréthriinoïde	Poudre	3	III
Tétraméthrine	Pyréthriinoïde	Poudre, Spray, Aérosol	1-2	U

Tableau VI : Les insecticides utilisables dans la lutte contre les punaises des lits (17)

(Source : WHO, 2006)

IGR : Régulateurs de croissance de l'insecte, II : modérément dangereux, III : plutôt dangereux, U : pas de danger dans les utilisations normales d'usage, NC : non connu

Bibliographie

Tous les sites référencés ont été consultés sur une période allant de mars 2013 à février 2014.

- (1) : ABEL E., BARD É. BERGER A. et al. Éthique et changement climatique. Le Pommier. 2009. 204p.
- (2) : PIPIEN Gilles, MORAND Pierre. Notre santé et la biodiversité. Tous ensemble pour préserver le vivant. BUCHET-CHASTET. Avril 2013. 224p.
- (3) : GOUDARD Alexandra. Fonctionnement des écosystèmes et invasions biologiques : importance de la biodiversité et des interactions interspécifiques [ressource électronique] sous la direction de LOREAU Michel. Paris : Université Pierre et Marie CURIE, 2007. 216p. [réf. Du 14 juin 2007]. Thèse Doctorat : Écologie : PARIS VI : 2007. Format PDF. Disponible sur <http://hal-bioemco.ccsd.cnrs.fr/docs/00/15/47/19/PDF/TheseGoudard.pdf>
- (4) : BARBAULT Robert. ÉCOLOGIE GÉNÉRALE : Structure et fonctionnement de la biosphère (6^{ème} édition). PARIS : DUNOD. 2008. 390p. (SCIENCES SUP).
- (5) : DUYCK Pierre-François. Compétition interspécifique et capacités invasives. Le cas des Tephritidae [ressource électronique] sous la direction de REYNAUD Bernard. Thèse doctorat : Biologie Animale : La Réunion : Faculté des Sciences et Technologies : décembre 2005 [réf. avril 2010] : 83p. Format PDF Disponible sur http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/47/05/66/PDF/2005lare0020_duyck.pdf
- (6) : VAN DIJK Henk. Dynamique des populations et écologie évolutive [en ligne]. 2006. 32p. Format PDF. Disponible sur http://gepv.univ-lille1.fr/downloads/enseignements/M1-S7/M1-S7-DynPop-VanDijk-Poly_cours.pdf
- (7) : BELL William J., ROTH Louis M., NALEPA Christine A. Cockroaches Ecology, Behavior, and Natural History [extrait en ligne]. JHU Press, 26 juin 2007. 247p. Format PDF. Disponible sur <http://edu-net.nl/Floraenfauna/Boeken/Cockroache;Ecology,behavior&history-W.J.%20Bell.pdf>
- (8) : L'Équipe de Questions-Santé. Cité de la santé. Maladies transmises par les rats. Disponible sur <http://www.cite-sciences.fr/fr/cite-de-la-sante/>
- (9) : NARDON Paul. La symbiose : rôle dans la nutrition et la physiologie des insectes [en ligne]. Insectes. pp 20-22. Format PDF. Disponible sur http://www.insectes.org/opie/pdf/2543_pagesdynadocs4e80217106f4d.pdf
- (10) : BOURLIOUX Pierre. Actualité du microbiote intestinal [Ressource électronique]. Académie de Pharmacie, 5 juin 2013. 29p. Format PDF. Disponible sur http://www.acadpharm.org/dos_public/Transfert_de_Flore_-P._BOURLIOUX_05.06.2013.pdf
- (11) : POLIGNÉ Justine. La capacité du système immunitaire intestinal à tolérer les bactéries commensales et à les "utiliser" pour être plus réactif face aux pathogènes [Ressource électronique] sous la direction de RAGUENE-NICOL Céline. Rennes: Université de Rennes 1, 2011. Synthèse bibliographique en immunologie. 35p. Format PDF. Disponibles sur http://etudes.univ-rennes1.fr/digitalAssets/38/38432_Poligne_systeme_immunitaire.pdf
- (12) : LEFEUVRE Jean-Claude. Les invasions biologiques, un danger pour la diversité. Paris :

BUCHET-CHASTEL, avril 2013. 213 p.

(13) : MIALL L.C., DENNY Alfred. The structure and the lifestory of the cockroach (*Periplaneta orientalis*). An introduction to the study of the insect [Extrait en ligne]. LONDON : Mc Corquodale & CO, 1886. 224p. Disponible sur <http://www.biodiversitylibrary.org/item/102871#page/13/mode/1up>

(14) : SHIPLEY A.E. COCKROACHES. *The British Medical Journal* [Extrait en ligne]. 12 décembre 1914. 3p. Format PDF. Disponible sur <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2300017/>

(15) : BENSIMON Corinne. Hécatombes de lapins australiens. Plus de dix millions sont déjà morts. Histoire d'une bavure scientifique. *Libération SCIENCES* [En ligne]. Janvier 1996. Disponible sur http://www.liberation.fr/sciences/1996/01/16/hecatombe-de-lapins-australiens-plus-de-dix-millions-son-t-deja-morts-histoire-d-une-bavure-scientifi_160045

(16) : MANDON-DALGER I. Éléments de réflexion et d'argumentation pour la mise en place d'une stratégie régionale de lutte contre les Espèces Végétales Exotiques Envahissantes en région méditerranéenne française continentale. Conservatoire Botanique Nationale de Porquerolles [Ressource électronique]. 2010. 95p. Format PDF. Disponible sur <http://invmed.fr/sites/invmed.fr/files/pictures/cadre%20r%C3%A9flexion%20strat%C3%A9gie.pdf>

(17) : WHO, World Health Organisation. Pesticides and their application for the control of vectors and pests of public health importance [Ressource électronique]. Sixth edition. 2006. 125p. Disponible sur http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_CDS_NTD_WHOPEP_GCDPP_2006.1_eng.pdf?ua=1

(18) : IRAC : Resistance Management for Sustainable Agriculture and Improved Public Health. The insecticide resistance committee website. Disponible sur <http://www.iraac-online.org/>

(19) : BALDI Isabelle, CORDIER Sylvaine, COUMOL Xavier et al. Pesticides. Effets sur la santé. Synthèse et recommandations [en ligne]. Expertise collective. Instituts thématiques. Les éditions Inserm (Institut national de la santé et de la recherche médicale). 2013. 148 p. Disponible sur <http://www.inserm.fr/actualites/rubriques/actualites-societe/pesticides-effets-sur-la-sante-une-expertise-collective-de-l-inserm>

(20) : SAGE pesticides. Utilisation rationnelle et sécuritaire des pesticides. Disponible sur <http://www.sagepesticides.qc.ca/infos/utilisationrationnelle.aspx>

(21) : GRANDBASTIEN Bruno. Les infections à *Clostridium difficile*. LILLE : Faculté de médecine de Lille 2. 2010. 36p. Format PDF. Disponible sur http://www.infectiologie.com/site/medias/enseignement/seminaires_desc/2010-janv/CD_DESC_01-2010_Grandbastien.pdf

(22) : VÉLEZ Andrés. Checklist of colombian cockroaches (Dictyoptera, Blattaria) [en ligne]. *Biota Colombiana* 9. 2008. p.21-38. Format PDF. Disponible sur <http://www.redalyc.org/pdf/491/49113173002.pdf>

(23) : LEGENDRE Frédéric : Phylogénie et évolution du comportement social chez les blattes et termites [Ressource électronique] sous la direction de LE GUYADER Hervé. -Paris : Université Pierre et Marie CURIE, 2007. 422 p. [réf. Du 23 novembre 2007]. Th. D : Sciences de la vie : Paris VI : 2007. Format PDF. Disponible sur http://www.afhalifax.ca/magazine/wp-content/sciences/LeModeleAnimal/LaPlasticitePhenotypique/These_Legendre.pdf.

(24) : GRANDCOLAS Philippe. The phylogeny of cockroach families : a cladistic appraisal of morpho-

anatomical data [en ligne]. Canadian Journal of zoology, 1996. pp 508-517. Format PDF. Disponible sur http://isyeb.mnhn.fr/Grandcolas/Grandcolas_fichiers/G96.pdf

(25) : DJERNAES Marie, KLASS Klaus-Dieter, PICKER Mike D., et al. Phylogeny of cockroaches (*Insecta*, *Dictyoptera*, *Blattodea*), with placement of aberrant taxa and exploration of out-group sampling. Systematic entomology, 2011. 19p. Format PDF. Disponible sur [www.researchgate.net/publication/230546817_Phylogeny_of_cockroaches_\(Insecta_Dictyoptera_Blattodea\)_with_placement_of_aberrant_taxa_and_exploration_of_outgroup_sampling/file/3deec51f969912e44b.pdf](http://www.researchgate.net/publication/230546817_Phylogeny_of_cockroaches_(Insecta_Dictyoptera_Blattodea)_with_placement_of_aberrant_taxa_and_exploration_of_outgroup_sampling/file/3deec51f969912e44b.pdf)

(26) : OPIE : Office pour les insectes et leur environnement. http://www.insectes.org/insectes/questions-reponses.html?id_quest=170

(27) : University of Florida. Featured creatures. American cockroaches : *Periplaneta americana*. http://entnemdept.ufl.edu/creatures/urban/roaches/american_cockroach.htm

(28) : JACOBS Steve. Oriental cockroaches [en ligne]. The Pennsylvania State University, janvier 2013. 2p. Disponible sur <http://ento.psu.edu/extension/factsheets/oriental-cockroaches>

(29) : JACOBS Steve. Brown-banded cockroaches [en ligne]. The Pennsylvania State University. Janvier 2013. Disponible sur <http://ento.psu.edu/extension/factsheets/brown-banded-cockroaches>

(30) : Animal Pictures Archive. Animal Photo Album. Brown-banded Cockroach (*Supella longipalpa*). <http://animal.memozee.com/view.php?tid=3&did=26022>

(31) : University of Nebraska. Department of entomology-Cockroach Images <http://entomology.unl.edu/images/cockroaches/>

(32) : JACOBS Steve. German cockroaches. The Pennsylvania State University. Janvier 2013. Disponible sur <http://ento.psu.edu/extension/factsheets/german-cockroaches>

(33) : BOROZAN-DOREY Vesna. Le savoir-vivre des blattes is beautiful [En ligne]. La Recherche, L'actualité des sciences. Novembre 2002. Disponible sur <http://www.larecherche.fr/savoirs/cas-especie/savoir-vivre-blattes-blatte-is-beautiful-01-11-2002-83571>

(34) : BŐRŐCSKY Katalin, WADA-KATSUMATA Ayako, BATCHELOR Dale et al. Insects groom their antennae to enhance olfactory acuity [en ligne]. PNAS, 19 juillet 2012 [réf. du 28 décembre 2012], 6p. Format PDF. <http://www.pnas.org/content/early/2013/01/29/1212466110.full.pdf+html>

(35) : WHO. Water sanitation health, Chapter five Cockroaches [Document électronique]. pp 288-281. Format PDF. Disponible sur http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/vector288to301.pdf

(36) : ERKU W., GEBRE-MICHAEL T., ASHENAFI M et al. Cockroaches associated food-borne bacterial pathogens from some hospitals and restaurants in Addis Ababa, Ethiopia: Distribution and antibiograms [Extrait en ligne]. Journal of Rural and Tropical Public Health. James cook University. Australia. 2006. 8p. Format PDF. Disponible sur <http://www.jcu.edu.au/jrtp/h/vol/v05ashenafi.pdf>

(37) : TILAHUN Birknech, WORKU Bogale, TACHBELE Erdaw et al. High load of multi-drug resistant nosocomial neonatal pathogens carried by cockroaches in a neonatal intensive care unit at Tikur Anbessa specialized hospital, Addis Ababa, Ethiopia [En ligne]. World sepsis day, mars 2012. Format PDF. Disponible sur <http://www.aricjournal.com/content/1/1/12>

- (38) : FOTEDAR R., SHRINIWAS, BANERJEE U., et al. Nosocomial infections: cockroaches as possible vectors of drug-resistant *Klebsiella* [en ligne]. The Journal of Hospital Infection, volume 18, Issue 2. Juin 1991. p155-159. Disponible sur <http://www.journalofhospitalinfection.com/article/0195-6701%2891%2990161-Z/abstract>
- (39) : Asthma and Allergy Foundation of American. COCKROACH ALLERGY [En ligne]. 2011. Disponible sur <http://www.aafa.org/display.cfm?id=9&sub=22&cont=312>
- (40) : GAO Peisong. Sensitization to cockroach allergen: immune regulation and genetic determinants [Extrait en ligne]. Clinical and Development Immunology. 2012. 8p. Disponible sur <http://www.hindawi.com/journals/jir/2012/563760/>
- (41) : BONNEFOY Xavier, KAMPEN Helge, SWEENEY Kevin. Les nuisibles urbains et leur impact sur la Santé Publique [en ligne]. Chartered Institute of Environmental Health. 2008. 48p. Format PDF. Disponible sur <http://www.urbanpestsbook.com/downloads/WHO-Summary-French.pdf>
- (42) : PETERSON John. Cockroaches allergens have greatest impact on childhood asthma in many U.S. cities [en ligne]. National Institute of Environmental Health Sciences. Mars 2005. Disponible sur <http://www.nih.gov/news/pr/mar2005/niehs-08.htm>
- (43) : BONNEFOY Xavier, KAMPEN Helge, SWEENEY Kevin. Public. Public health significance of urban pests. World Health Organisation. 2008.-pp-53-84. Disponible sur http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0011/98426/E91435.pdf
- (44) : County os Los Angeles - Department of Public Health. Effective management of cockroach infestations. 8p. Format PDF. https://publichealth.lacounty.gov/eh/docs/Specialized/Vector_Management/cockroachMgmt.pdf
- (45) : MILLER Dini, KOEHLER Philip. Least toxic methods of cockroach control. University of Florida. <http://schoolipm.ifas.ufl.edu/tp3.htm>
- (46) : LANCELEVÉ Christian. Roubaix : aux Trois-Ponts, les habitants des tours A et B ont le cafard. Nordéclair, le 22 août 2013. Disponible sur <http://m.nordeclair.fr/info-locale/roubaix-aux-trois-ponts-les-habitants-des-tours-a-et-b-ia50b0n262304>
- (47) : VILLON Stéphane. La Terre de Diatomée [en ligne]. Punaise de lit : le traitement final. Disponible sur <http://www.traitement-punaise.com/terre-de-diatomee-insecticide-naturel/>
- (48) : PROVOST Xavier. Bricolage acide borique insecticide [en ligne]. Bug & pest control. Entretien de la maison. Disponible sur <http://www.aced.com/bricolage-acide-borique-insecticide.html>
- (49) : ANSM, Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé. Risques liés à l'utilisation de préparations hospitalières, magistrales et officinales contenant de l'acide borique et/ou ses dérivés. Juillet 2013. 2p. Format PDF. http://ansm.sante.fr/var/ansm_site/storage/original/application/b5a8c5d304ae45778f43ead4f69483bf.pdf
- (50) : IFA. GESTIS substance database. Boric acid. [http://gestis-en.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_en/003640.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$3.0](http://gestis-en.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_en/003640.xml?f=templates$fn=default.htm$3.0)
- (51) : INRS, Institut National de Recherche et Sécurité. Fiche toxicologique : Acide borique. 2011. 7p. Format PDF. www.inrs.fr/default/dms/inrs/FicheToxicologique/TI-FT-138/ft138.pdf
- (52) : RICKS Winston. *Scutigera coleoptrata* [en ligne]. Animal Diversity Web, 2004. Disponible sur

http://animaldiversity.ummz.umich.edu/accounts/Scutigera_coleoptrata/

(53) : REIN Jan Ove. *Euscorpius flavicaudis* [en ligne]. NTNU (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet), 2000. Disponible sur http://www.ntnu.no/ub/scorpion-files/e_flavicaudis.htm

(54) : VAN LENTEREN Joop C. The state of commercial augmentative biological control : plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake [en ligne]. *BioControl*, vol. 57, issue 1, février 2012, pp 1-20. Disponible sur <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10526-011-9395-1>

(55) : NPMA LIBRARY UPDATE. Biocontrol Agents used as pest management tools. Octobre 2009. 4p. Format PDF <http://www.nmpma.org/pdfs/newspdfs/LibraryUpdate1009.pdf>

(56) : MAUGHAN Nicolas. *Comperia merceti*, contre le cafard *Insectes* n°158. 2010. pp 19-21. Disponible sur <http://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i158maughan.pdf>

(57) : RIBBES Florence. Observation d'une guêpe parasite : *Ampulex compressa* Fabricius [en ligne]. *Insectes* n°99. 1993, INRA. 3p. Format PDF. Disponible sur <http://www7.inra.fr/opie-insectes/pdf/i90ribbes.pdf>

(58) : Midwest Biological Control News Online. <http://www.entomology.wisc.edu/mbcn/mbcn302.html>

(59) : HERNANDEZ-RAMIREZ G., SANCHEZ-ARROYO H., ALATORRE-ROSAS R.. Pathogenicity of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* to the american cockroach. OOK-Press. 2008. Format PDF. Disponible sur <http://www.icup.org.uk/reports%5CICUP868.pdf>

(60) : Bed bug general.com. An online community waging war against bed bug. http://www.bedbuggeneral.com/History_of_Bed_Bugs_s/83.htm

(61) : CRIADO Paulo R., VASCONCELOS Roberta, VASCONCELLOS Cidia et al. Bedbugs (*Cimidae* infestation) : the worldwide renaissance of an old partner of human kind [en ligne]. *Infectious disease* 2011. 27 novembre 2010 [rév. le 12 mai 2010]. 7p. Format PDF. Disponible sur <http://www.scielo.br/pdf/bjid/v15n1/v15n1a14.pdf>

(62) : Le Parisien. Paris : envahis par les punaises de lit, ils vivent l'enfer. <http://www.leparisien.fr/espace-premium/paris-75/envahis-par-les-punaises-de-lit-ils-vivent-l-enfer-04-11-2013-3283321.php>

(63) : DESCHAMPS Pierre. Punaises de lit : l'épidémie vient des beaux quartiers. Le nouvel observateur, le 03 2013. <http://rue89.nouvelobs.com/2013/06/03/punaises-lit-france-ca-pique-surtout-les-hotels-chut-242931>

(64) : AFP. Multiples piqûres de punaises après une nuit à l'hôtel : plainte contre Accor. Le Parisien le 9 décembre 2011. <http://www.leparisien.fr/orleans-45000/multiples-piqures-de-punaises-apres-une-nuit-a-l-hotel-plainte-contre-accor-09-12-2011-1761756.php>

(65) : Tout sur les punaises de lit au Québec. Photos punaises de lit. <http://www.punaisedeslits.info/home/photos-punaises-de-lit>

(66) : Espace pour la vie Montréal. La punaise des lits : propagation et contrôle. Disponible sur <http://espacepurlavie.ca/la-punaise-des-lits-propagation-et-contrôle>

(67) : BEREGBER Jean-Michel. Punaises des lits, *Cimex lectularius*, Biologie et comportement. Faculté de Médecine, journée technique du 11 novembre 2011. 37p. Disponible sur <http://fr.slideshare.net/isurfmedia/punaises-edialux-9112011>

- (68)** : The bed bug situation room powered by WordPress . Arming you with bed bug prevention information and plan of attack. <http://www.killbedbugs.com/blog/about>
- (69)** : ROMERO Alvaro. Biology and management of the bed bug, *Cimex lectularius* L. (*Heteroptera* : *Cimicidae*) [Ressource électronique] sous la direction de HAYNES Kenneth F. University of Kentucky, College of agriculture. Thèse doctorat : Philosophy : Lexington : 2009. Disponible sur http://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1765&context=gradschool_diss
- (70)** : icpmr. The department of medical entomology bed bug website. University of Sydney. <http://medent.usyd.edu.au/bedbug/>
- (71)** : RIDGE Gale E.. La punaise de lit: guide pratique pour propriétaires et locataires, *Cimex lectularius*, *C. hemipterus*. Connecticut Agricultural Experiment Station. Format PDF. Disponible sur http://www.ct.gov/caes/lib/caes/documents/publications/fact_sheets/entomology/a_home_owners_guide_to_human_bed_bugs_french_version.pdf
- (72)** : OLSON J.F., EATON M., KELLS S.A., et al. Cold tolerance of bed bugs and practical recommendations for control [en ligne]. Entomological society of America. Décembre 2013. 9p. Disponible sur <http://www.entsoc.org/home>
- (73)** : MILER Dini M.. Using heat to kill bed bugs. Department of entomology, Virginia Tech. 4p. Disponible sur <http://www.vdacs.virginia.gov/pesticides/pdffiles/bb-heat1.pdf>
- (74)** : ARAUJO Ricardo N., COSTA Fernanda S., GONTIJO Nelder F. et al. The feeding process of *Cimex lectularius* on different bloodmeal sources. *Journal of Insect Physiology* 55, 28 avril 2009 [rév. 17 août 2009]. p 1151-1157.
- (75)** : USINGER Robert L.: Monograph of *Cimicidae* (*Hemiptera-Heteroptera*), vol. 7 [en ligne]. Entomological Society of America. 1966. 582p. Format PDF. Disponible sur <http://www.pest2000.it/TESTI/Monograph%20of%20Cimicidae.pdf>
- (76)** : DELAUNAY Pascal, BERENGER Jean-Michel, IZRI Arezki, CHOSIDOW Olivier: LES PUNAISES DE LITS *Cimex lectularius* et *Cimex hemipterus* Biologie, Lutte et Santé Publique, [en ligne]. Extrait de "Riviera Scientifique". 2010. 18p. Format PDF. Disponible sur http://www.ars.paca.sante.fr/fileadmin/PACA/Doc/Actu_2011/punaises_de_lit/Punaises_de_lits_2011.pdf
- (77)** : HARRACA Vincent, RYNE Caroline, IGNELL Rickard. Nymphs of the common bed bug (*Cimex lectularius*) produce anti-aphrodisiac defence against conspecific males [en ligne]. *BioMed Central (BMC) Biology*. 2010. Disponible sur <http://www.biomedcentral.com/1741-7007/8/121/>
- (78)** : DESHAZO Richard D., MD, FELDLAUFER Mark F. et al. Bullous Reactions to bedbug bites reflect cutaneous vasculitis [en ligne]. *The American Journal of Medicine*, 2012. Disponible sur <http://www.amjmed.com/article/S0002-9343%2811%2901029-1/fulltext>
- (79)** : DOGGETT Stephen L., DWYER Dominic E., PEÑAS Pablo F. et al. Bed bugs : clinical relevance and control options [en ligne]. *Clinical Microbiology Reviews*. p164-192. Disponible sur <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3255965/>
- (80)** : DELAUNAY Pascal, BLANC Véronique, DEL GIUDICE Pascal, et al. Bedbugs and infectious disease [en ligne]. *Oxford Journals, Clinical infectious disease*, volume 52, issue 2. 25 mai 2010 [réf. du 17 septembre 2010]. pp 200-210. Disponible sur <http://cid.oxfordjournals.org/content/52/2/200.long>

#ref-11

(81) : SAUVÉ Mathieu-Robert. Punaises de lit : les effets sont aussi dans la tête. UdeMNouvelles, Université de Montréal. 12 novembre 2012. <http://www.nouvelles.umontreal.ca/recherche/sciences-sociales-psychologie/20121112-punaises-de-lit-les-effets-sont-aussi-dans-la-t-te.html>

(82) : Office of the deputy under secretary of defense for installations & environment. Bed bugs - Importance, biology and control strategies. The information service division armed forces pest management board. Mars 2012. <http://www.afpmb.org/sites/default/files/pubs/techguides/tg44.pdf>

(83) : SINGH Narinderpal, WANG Changlu, COOPER Richard et al. Interactions among carbon dioxide, heat and chemical lures in attracting the bed bug, *Cimex lectularius* L [en ligne]. Hindawi Publishing Corporation, octobre 2011 [réf. du 21 décembre 2011]. Psyche, volume 2012. 2012. 9p. Disponible sur <http://www.hindawi.com/journals/psyche/2012/273613/>

(84) : BadBedBugs, Bed bug bites, pictures and DIY pest control!. Make your own detector or trap for under \$10. Disponible sur <http://www.badbedbugs.com/bed-bug-traps/>

(85) : PR Newswire. New technology wins the war on bedbugs [en ligne]. New-York, 9 avril 2013. Disponible sur <http://www.prnewswire.com>

(86) : TEYSSIER B. Présence de punaises de lit... une expérience... une galère. CCLIN (Centre de Coordination et de lutte Contre les Infections nosocomiales) AGEN. MAI 2012. <http://fr.slideshare.net/punaisedelit/centre-hospitalierlacandelieinfestationetraitementspunaisedelit2012cclinbrigitteteysier>

(87) : Punaises de lit - Exterminons les!. Comment se débarrasser des punaises de lit? Guide des traitements. Disponible sur <http://www.punaises-lit.com/comment-debarrasser-punaises-lit-guide-traitements>

(88) : University of Minnesota. Let's beat the bed bug, using freezing conditions to kill bed bugs [en ligne]. Disponible sur <http://www.bedbugs.umn.edu/bed-bug-control-in-residences/using-freezing-temperatures-for-bedbug-control/>

(89) : POTTER Michael F., ROMERO Alvaro, HAYNES Kenneth F.. Killing them softly : battling bed bugs in sensitive accounts [en ligne]. Pest control management. 19 janvier 2007 [Référence du 22 février 2014]. Disponible sur <http://www.pctonline.com/>

(90) : PUCKETT Robert, McDONALD Danny L., GOLD Roger R. Comparison of multiple steam treatment durations for control of bed bugs[en ligne]. Pest Management Science, volume 69, issue 9, p1061-1065, février 2013 [réf. septembre 2013]. Disponible sur <http://onlinelibrary.wiley.com.ezproxy.u-bordeaux2.fr/doi/10.1002/ps.3467/full>

(91) : POTTER Michael F.. Bed bugs [en ligne]. University of Kentucky, College of agriculture, food and environment. 11p. Disponible sur <http://www2.ca.uky.edu/entomology/entfacts/ef636.asp>

(92) : bedbugger.com

(93) : HILL Catherine A.n, MACDONALD John F. Bed bugs : biology and public health risk. Public Health, Department of Entomology, mai 2010, 4p. Disponible sur <http://extension.entm.purdue.edu/publications/E-249.pdf>

- (94)** : ZHU Fang, WIGGINTON John, ROMERO Alvaro et al. Widespread distribution of knockdown resistance mutations in the bed bug *Cimex lectularius*, populations in the United States. Archives of insect biochemistry and physiology, vol.73, n°4, p245-257. 2010. Disponible sur [www.researchgate.net/publication/42346764_Widespread_distribution_of_knockdown_resistance_mutations_in_the_bed_bug_Cimex_lectularius_\(Hemiptera_Cimicidae\)_populations_in_the_United_States/file/d912f50b557c878e2a.pdf](http://www.researchgate.net/publication/42346764_Widespread_distribution_of_knockdown_resistance_mutations_in_the_bed_bug_Cimex_lectularius_(Hemiptera_Cimicidae)_populations_in_the_United_States/file/d912f50b557c878e2a.pdf)
- (95)** : ROMERO Alvaro, POTTER Michael F., HAYNES Kenneth F. Evaluation of chlorfenapyr for control of the bed bug, *Cimex lectularius*L. Society of Chemical Industry, 22 janvier 2010, 6p.
- (96)** : BRUNET Jean-Louis. Les insectes et la santé. John Libbey Eurotext, 2006. p34-34.
- (97)** : Natural history museum. Reduvius personatus. <http://www.nhm.ac.uk/nature-online/species-of-the-day/scientific-advances/bio-control/reduvius-personatus/index.html>
- (98)** : LEQUET André. Pages entomologiques (site primé par la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France en 2012). <http://www.insectes-net.fr/index.htm>
- (99)** : ARON S; Reproductive strategy : an essential component in the success of incipient colonies of the invasive Argentine ant [en ligne]. Insectes sociaux, volume 48, 2001. p 25-27. Disponible sur <http://link.springer.com/article/10.1007/PL00001740#page-1>
- (100)** : Identification, Images, & Information for insects, spiders & their kin for the United States and Canada. Iowa State University Entomology. <http://bugguide.net>
- (101)** : JACOBS Steve. Pseudoscorpions [en ligne]. Pennstate, The Pennsylvania State University. Juillet 2004 [revu en janvier 2013]. Disponible sur <http://ento.psu.edu/extension/factsheets/pseudoscorpions>
- (102)** : HACKTT Michael. *Eremobates pallipes*. University of Michigan, Museum of zoology [en ligne]. 2001. Disponible sur http://animaldiversity.ummz.umich.edu/accounts/Eremobates_pallipes/
- (103)** : Nature Spot, recording the wildlife of Leicestershire & Rutland. Rabbit Hutch Spider-*Steatoda bipunctata*. <http://www.naturespot.org.uk/species/rabbit-hutch-spider>
- (104)** : The website dedicated to Nottinghamshire's invertebrate fauna. www.eakingbirds.com
- (105)** : *Pyemotes spp*, agents de dermatite associée à la paille [en ligne]. Université de Montréal, laboratoire de parasitologie. Format PDF Disponible sur <http://www.medvet.umontreal.ca/servicediagnostic/parasitologie/PDF/Pyemotes.pdf>
- (106)** : DEL GIUDICE Pascal, BLANC-AMRANE Véronique, BAHADORAN Philippe, et al. *Pyemotes ventricosus Dermatitis*, Southeastern France [en ligne]. Emerging infectious diseases, volume 14, N°11, novembre 2008. Format PDF. Disponible sur <http://wwwnc.cdc.gov/eid/article/14/11/pdfs/08-0288.pdf>
- (107)** : BELLES-ISLES J.C., BARIL Jacynthe, THIFFAULT Dominique. Évaluation des risques écotoxicologiques associés à l'utilisation des pesticides [en ligne]. INSPQ : Institut nationale de Santé Publique Québec Septembre 2005. 181 p.Format PDF. Disponible sur http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/424_rapportsectoriel7_risquesecotoxicopesticidesvno.pdf

MOURIER Agnès

Lutte intégrée contre deux insectes synanthropes : *Blattella germanica* et *Cimex lectularius*. Apports de l'écologie scientifique pour le conseil à l'officine.

RÉSUMÉ

Les invasions biologiques ou proliférations de nuisibles, de plus en plus fréquentes, sont l'une des premières causes de perte de biodiversité, la source de pertes économiques importantes et dans certains cas entraînent des retentissements sanitaires. Face aux problèmes de résistance et de toxicité des produits chimiques largement utilisés jusqu'ici, les pouvoirs publics se penchent de plus en plus sur les méthodes dites "biologiques" pour y remédier. Ces méthodes s'appuient sur la connaissance de l'écologie des organismes "nuisibles", qui ne peut être envisagée sans une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes et du rôle de la biodiversité.

C'est dans cet esprit que nous abordons le cas d'insectes qualifiés de synanthropes (vivant dans nos maisons), un commensal, la blatte, et un parasite, la punaise des lits. La blatte germanique, *Blattella germanica*, entraîne des problèmes d'hygiène et est aussi à l'origine de manifestations allergiques. La punaise des lits *Cimex lectularius* est un ectoparasite piqueur hématophage qui est en forte recrudescence depuis une dizaine d'années. Ces Insectes sont devenus résistants à de nombreux insecticides et pour cette raison la mise en place de méthodes de lutte dites intégrées s'avère indispensable.

Pour chacun nous rapportons les connaissances sur leur biologie permettant de mener cette lutte « biologique » associée si nécessaire à une lutte chimique dans le but d'améliorer le conseil à l'officine.

Integrated pest management against two synanthrope insects: *Blattella germanica* and *Cimex lectularius*. Contribution of ecology in the pharmacist's advice

DISCIPLINE

Santé, Pharmacie

MOTS-CLÉS

Blattella germanica, *Cimex lectularius*, invasions biologiques, biodiversité, écosystèmes, lutte intégrée.

INTITULÉ ET ADRESSE DE L'UFR

U.F.R. DES SCIENCES PHARMACEUTIQUES
Université de Bordeaux