

Les punaises de lit : impacts, prévention et lutte

Saisine « n° 2021-SA-0147 »

RAPPORT d'expertise collective

**Comité d'experts spécialisé « Substances et produits biocides »
Comité d'experts spécialisé « Analyse socio-économique »**

Groupe de travail « Punaises de lit »

Mai 2023

Citation suggérée

Anses. (2023). Les punaises de lit : impacts, prévention et lutte. (saisine 2021-SA-0147). Maisons-Alfort : Anses, 257 p.

Mots clés

Punaises de lit, *Cimex lectularius*, *Cimex hemipterus*, arthropode hématophage, lutte, prévention, impact sanitaire, résistance, déterminants socio-économiques, coût économique.

Bed bugs, Cimex lectularius, Cimex hemipterus, hematophagous arthropod, control, prevention, health impact, resistance, social and economic determinants, economic cost.

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GROUPE DE TRAVAIL

Président

M. Claudio LAZZARI – Professeur, Université de Tours – Physiologie et comportement des arthropodes hématophages

Membres

Mme Christine BRAQUART-VARNIER – Professeure, Université de Poitiers – Interactions hôtes-pathogènes, biologie des invertébrés

M. Laurent DALMAS – Maître de conférences, HDR, Université de Versailles-St Quentin en Yvelines – économie de l'environnement et de la santé

M. Pascal DELAUNAY – Praticien Hospitalier, CHU de Nice – Entomologie médicale, Parasitologie, Mycologie

M. Arezki IZRI – MCU-PH Émérite, Université Sorbonne Paris Nord – Entomologie médicale, Parasitologie, Mycologie

Mme Natacha KREMER – Chargée de recherche, CNRS / Université Lyon 1– Biologie évolutive

Mme Isabelle LACAZE – Ingénierie de recherche et d'expertise, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) – Qualité sanitaire des environnements intérieurs

Mme Catherine PECQUET – Médecin praticien hospitalier, Hôpital Tenon – Dermato-allergologie

M. François VERHEGGEN – Professeur, Université de Liège – Entomologie, Écologie chimique, Lutte biologique

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES « Substances et produits biocides »

Président

M. Georges DE SOUSA – Ingénieur de Recherche, INRAE – Toxicologie, méthodologie *in vitro*, perturbateurs endocriniens, cinétique

Membres

M. Olivier ADAM – Dirigeant chez Hydrobio Conseil – Écotoxicologie, produits biocides TP8

M. Alain AYMARD – Ingénieur et enquêteur retraité de la DGCCRF – Réglementation, classification et étiquetage

M. Jean-Christophe CAHUZAC, vice-président – Ingénieur des Laboratoires du Ministère des Finances, Responsable de la section de produits chimiques, biocides et substances dangereuses – Physico-chimie, méthodes d'analyse, formulation, réglementation

M. Pierre GREVE – Professeur, Université de Poitiers – Perturbateurs endocriniens, différenciation sexuelle, reprotoxicité (faune), microbiologie, écotoxicologie des sols, tests comportementaux

M. Philippe HARTEMANN – Professeur de Santé Publique retraité – Microbiologie, désinfectants, hygiène

Mme Claire HELLIO – Professeur, Université de Bretagne Occidentale – Écologie, biotechnologie marine, biochimie marine

Mme Dominique PESSEL – Chef d'unité, Fougères, Anses – Physico-chimie analytique, résidus médicaments vétérinaires, résidus de biocides désinfectants

M. Vincent RICHARD – Ingénieur de recherche chez DIRECCTE Haute Normandie – Chimie, risque chimique, sécurité au travail, réglementation chimique

M. Christophe SOUMET – Ingénieur de recherche, Chef d'unité AB2R, Fougères, Anses – Microbiologie, désinfectants, résistance

■ GT « vecteurs »

Président

M. Philippe QUENEL – Professeur, EHESP Rennes – Épidémiologie, évaluation du risque, santé publique

Membres

M. Frédéric ARNAUD – Directeur de recherche INRAE/Professeur cumulant EPHE Lyon – Virologie moléculaire, arbovirus, compétence vectorielle

M. Thierry BALDET – Chercheur, CIRAD La Réunion – Entomologie médicale et vétérinaire, moustiques, culicoïdes, lutte anti-vectorielle

M. Christophe BOËTE – Chargé de recherche IRD – Écologie des vecteurs, biologie évolutive, nouvelles méthodes de lutte anti-vectorielle

M. Daniel BLEY – Directeur de recherches émérite au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Anthropologue biologiste,

Mme Sarah BONNET – Directrice de recherche, INRAE, Maisons-Alfort – Parasitologie, entomologie médicale et vétérinaire, tiques

M. Emmanuel LIENARD – Enseignant-chercheur, ENV Toulouse – Mécanismes de résistance aux insecticides, pathologie animale, parasitologie

Mme Antoinette LUDWIG – Vétérinaire épidémiologiste, Agence de santé publique du Canada – Santé animale, épidémiologie des zoonoses, modélisation

Mme Sylvie MANGUIN – Directrice de recherche, IRD Montpellier – Entomologie médicale, maladies à transmission vectorielle, moustiques

Mme Marie-Claire PATY – Médecin infectiologue, Santé publique France – Épidémiologie, santé humaine, santé publique

M. Christophe PAUPY – Directeur de recherche, IRD Montpellier – Entomologie médicale, bio-écologie des vecteurs, moustiques, arbovirus

M. Jocelyn RAUDE – Maître de conférences, EHESP Rennes – Psychologie de la santé, sciences humaines et sociales

Mme Magalie RENE-MARTELLET – Enseignant-chercheur, VetAgro SupLyon – Épidémiologie, santé animale, tiques, parasitologie

M. David ROIZ – Chercheur, IRD Montpellier – Lutte anti-vectorielle, entomologie médicale, *Aedes*, évaluation des risques

M. Claude SAEGERMAN – Professeur, Université de Liège – Épidémiologie, évaluation de risque, infectiologie et biosécurité

M. Frédéric SIMARD – Directeur de recherche IRD Montpellier – Entomologie médicale, arboviroses, biologie évolutive, maladies infectieuses émergentes

M. Jean-Paul STAHL – Médecin infectiologue, CHU Grenoble – Maladies infectieuses, pathologies tropicales

■ CES « Analyse socio-économique »

Présidence

Mme Laura MAXIM – Chargée de recherche (CNRS) – Socio-économie, risques chimiques, incertitude

Membres

Mme Bénédicte APOUEY – Chargée de recherche (CNRS - École d'Économie de Paris) – Économie de la santé, inégalités sociales de santé

M. Luc BAUMSTARK – Maître de conférence (Université Lyon 2) – Économie publique, économie de l'environnement, économie de la santé, calcul économique public

Céline BONNET – Directrice de recherche (Inrae) – Économie industrielle, analyse des politiques alimentaires et environnementales

M. Thierry BRUNELLE – Chargée de recherche (Cirad) – Modélisation, usages des sols, sécurité alimentaire, biodiversité, changement climatique

Mme France CAILLAVET – Directrice de recherche (Inrae) – Déterminants socio-économiques des décisions alimentaires, inégalités, analyse des politiques alimentaires

M. Alain CARPENTIER – Directeur de recherche (Inrae) – Analyse des systèmes de production agricole, politique agro-environnementale, usage d'intrants chimiques

M. Thomas COUTROT – retraité – Statistiques du travail, évaluation économique, organisation du travail

Mme Cécile DETANG-DESENDRE – Directeur scientifique adjoint (Inrae) – Économie des espaces ruraux, marché du travail agricole

M. Serge GARCIA – Directeur de recherche (Inrae) – Économie des ressources naturelles, eau, forêt, services écosystémiques, politiques publiques environnementales

M. Julien GAUTHEY – Chargé de mission Recherche (OFB) – Sociologie, socio-économie, biodiversité, agroécologie, économie circulaire, micropolluants

Mme Emmanuelle LAVAINE – Enseignant chercheur (Université de Montpellier) – Économie appliquée en santé-environnement, évaluation des externalités environnementales de santé

M. Marc LEANDRI – Maître de Conférences (Université Versailles-Saint Quentin) – Économie du risque et de l'information, économie de la pollution, services écosystémiques, développement durable

Mme Christine LE CLAINCHE – Professeure des universités (Université de Lille) – Santé-travail, inégalités sociales de santé, prévention, équité et redistribution, l'économie comportementale

M. Youenn LOHEAC – Enseignant-chercheur (CNRS, université Rennes1, *Rennes School of Business*) – Économie expérimentale et comportementale, analyse des comportements alimentaires

M. Selim LOUAFI – Directeur adjoint (UMR AGAP- Cirad) – Sciences sociales, biodiversité, biotechnologies, développement durable, sécurité alimentaire, décision publique

M. Eric PLOTTU – Coordinateur scientifique (Ademe) – Théorie de la décision, méthodologie d'évaluation et aide multicritère à la décision, approches participatives, évaluation socio-économique et environnementale de projets

Mme Elodie ROUVIERE – Maître de Conférences (AgroParisTech) – Organisation industrielle, économétrie appliquée, filières agroalimentaires

Mme Maïder SAINT JEAN – Enseignante-chercheure (Université de Bordeaux) – Économie de l'innovation, éco-industrielle, l'économie de l'environnement, transition sociotechnique

M. Denis SALLES – Directeur de recherche (Inrae) – Sociologie de l'environnement et de l'action publique, gestion des ressources en eau

M Louis-Georges SOLER – Directeur scientifique adjoint (Inrae) – Économie des filières agricoles et agroalimentaires, politiques nutritionnelles

Mme Léa TARDIEU – Chargée de recherche (Inrae) – Services écosystémiques, justice environnementale, biodiversité, analyses spatialisées

M. Jean-Christophe VERGNAUD – Directeur adjoint (Centre d'économie de la Sorbonne - École d'Économie de Paris) – Économie publique appliquée en santé-environnement, théorie de la décision, économie expérimentale, REACH

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Saisine transversale ayant impliqué les unités ci-dessous :

- Direction de l'évaluation des risques (DER) – Unité d'évaluation des risques liés au bien-être, à la santé et à l'alimentation des animaux, et aux vecteurs (UBSA₂V)
 - Mme Johanna FITE – Chargée de mission « vecteurs & lutte anti-vectorielle »
 - M. Ali JAFFAL – Coordinateur d'expertise scientifique
- Direction Sciences Sociales, Economie et Société (DiSSES)
 - Mme Karine FIORE – Directrice adjointe
 - Mme Emeline HILY – Chargée de projets socio-économiques
 - M. Alexis LAROUSSE – Chargé de projets socio-économiques

Contribution scientifique

Mme Catherine GOURLAY-FRANCÉ – Directrice Adjointe de la Direction de l'évaluation des produits réglementés (DEPR) – Anses

Secrétariat administratif

M. Régis MOLINET – Anses

AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

Les personnes mentionnées dans le Tableau 1 ont été auditionnées par le groupe de travail. Les experts du groupe de travail remercient l'ensemble des personnes consultées pour la qualité des échanges. Les informations transmises dans ce cadre ont été prises en compte lors de l'élaboration du rapport.

Avertissement : la mention des personnes dans le tableau ci-dessous ne signifie pas qu'elles endossent les conclusions du présent rapport.

Tableau 1 : Liste des personnes auditionnées

Nom	Fonction	Organisme	Date
Cyrille FABRE	Directeur d'Exploitation	Paris Habitat	16 février 2022
Didier OLLANDINI	Chef de bureau de l'environnement intérieur, des milieux de travail et des accidents de la vie courante – EA2	Direction générale de la santé (DGS)	23 mars 2022
Jean Michel THIOLET	chargé de mission bureau EA2		
Olivier GRAS	Adjoint au chef de bureau des produits chimiques	Direction générale de la prévention des risques (DGPR)	23 mars 2022
Carole MONNERAYE	Chargée de mission biocides et lutte anti-vectorielle		
François LEFORT	Coordonnateur du plan d'action interministériel contre la punaise de lit	Membre permanent du conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) / section Habitat, Aménagement et Cohésion Sociale (HACS)	23 mars 2022
Nicolas Château	Président	Association SI TOIT LIEN	23 mars 2022
Philippe Moine	Secrétaire général	Association « union et solidarité »	23 mars 2022
Alexandre AUMIS	Sous-directeur en charge de l'hébergement et du patrimoine	Centre National des Œuvres Universitaires et Scolaires CNOUS/CROUS	19 avril 2022
Sergio GIGLIO	Entomologiste urbain	Alpes Maritimes Insectes (Ami)	31 mai 2022
Nohal ELISSA	Responsable du département « Faune et Actions de Salubrité » (DFAS) au sein du service	Ville de Paris	3 juin 2022

Nom	Fonction	Organisme	Date
	parisien de santé environnementale (SPSE) de la Direction de la Santé Publique (DSP)		
Laurent Duc	Président	UMIH, Hôtellerie Française	7 Juin 2022
François Gauthier	Président branche Hôtelière GNI	GNI	15 juin 2022
Patrick GRAVEY	Président	Chambre Syndicale 3D (CS3D)	30 juin 2022
Stéphane BRAS	Porte-Parole		
Brigitte GUILLOT	Secrétaire Générale		
Chloé LEONARDON	Assistante de Direction		

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations.....	14
Liste des tableaux	17
Liste des figures.....	19
1. Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise	21
1.1 Contexte	21
1.2 Objet de la saisine	21
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	22
1.4 Limites du champ d'expertise.....	22
1.5 Prévention des risques de conflits d'intérêts	23
2 Méthodologie de l'expertise.....	24
2.1 Recherches bibliographiques.....	24
2.1.1 Revue sur l'efficacité des méthodes de lutte.....	24
2.1.2 Revue sur les déterminants socio-économiques des infestations par les punaises de lit	27
2.2 Auditions.....	29
2.2.1 Objectif des auditions	29
2.2.2 Préparation et déroulement des auditions	29
2.2.3 Traitement et utilisation des informations obtenues	29
2.2.4 Personnes auditionnées.....	30
2.3 Démarches d'enquête.....	30
2.3.1 Enquête en population générale	30
2.3.2 Enquête auprès des bailleurs sociaux	32
3 Biologie et comportement des punaises de lit	33
3.1 Généralités	33
3.2 Cycle de développement	33
3.3 Comportement de recherche d'hôte.....	34
3.3.1 Orientation thermique.....	35
3.3.2 Orientation olfactive.....	35
3.3.3 Communication chimique intraspécifique	36
3.3.4 Orientation tactile et visuelle.....	37
3.4 Mobilité	37
4 Étude de l'association entre les caractéristiques socio-économiques des ménages et la dynamique d'infestation par les punaises de lit	38
4.1 État des connaissances	38

4.1.1	Caractéristiques du corpus analysé.....	38
4.1.2	Mise en évidence des déterminants de l'apparition et de la persistance des infestations par les punaises de lit.....	40
4.1.3	Discussion.....	44
4.2	Étude de l'association entre les caractéristiques socio-économiques des ménages et la dynamique d'infestation des punaises de lit.....	46
4.2.1	Analyse des résultats de l'enquête <i>ad hoc</i>	46
4.2.2	Discussion.....	54
4.2.3	Incertitudes	57
4.3	Conclusion.....	58
5	Les principaux impacts des infestations par les punaises de lit sur la santé humaine	60
5.1	Lésions cutanées induites par les piqûres.....	60
5.1.1	Mécanismes des lésions	60
5.1.2	Les lésions cutanées	60
5.1.3	Les complications cutanées	61
5.1.4	Les autres manifestations.....	61
5.2	Pouvoir de transmission d'agents infectieux	62
5.3	Les conséquences émotionnelles et psychologiques	62
5.3.1	Troubles du sommeil	62
5.3.2	Les effets sur la santé mentale.....	62
5.4	Prise en charge des effets de santé.....	64
6	Méthodes d'identification, de détection et d'évaluation des niveaux et/ou de la répartition des infestations par les punaises de lit.....	65
6.1	Identification de l'espèce « punaise de lit »	65
6.2	Détection des punaises de lit	65
6.2.1	Détection par inspection visuelle active	65
6.2.2	Détection par pièges passifs et actifs	66
6.2.3	Détection canine	67
6.2.4	Détection de l'activité des punaises.....	68
6.2.5	Synthèse des méthodes et outils de détection des punaises de lit	69
6.3	Évaluation de la répartition des infestations	70
7	Méthodes de lutte contre les punaises de lit	73
7.1	Méthodes de lutte physique	76
7.1.1	Traitement par la chaleur sèche	76
7.1.2	Traitement à la vapeur (chaleur humide ou sèche).....	80
7.1.3	Traitement par le froid	81

7.1.4	Lavage du linge, trempage, nettoyage à sec et séchage à chaud	84
7.1.5	Traitement par le vide ou par anoxie	85
7.1.6	Nettoyage (aspiration, brossage) ou suppression des objets infestés	86
7.1.7	Pièges passifs (feuille de haricot) et actifs (<i>pitfall</i>)	87
7.2	Méthodes de lutte fondées sur l'utilisation d'agents de contrôle biologique	88
7.2.1	Les bactéries	89
7.2.2	Les champignons	90
7.3	Méthodes de lutte chimique	91
7.3.1	Les insecticides chimiques	91
7.3.2	Insecticides à action déshydratante : les silicates	97
7.3.3	Traitement par l'ozone gazeux	99
7.3.4	Les répulsifs	101
7.4	Synthèse de l'efficacité et de l'applicabilité des différentes méthodes de lutte	102
7.5	Gestion intégrée des infestations - IPM (<i>Integrated Pest Management</i>)	106
8	Étude de filière du service de désinsectisation	112
8.1	Actions mises en place pour se débarrasser des punaises de lit en France (en 2022)	112
8.2	L'offre de service de désinsectisation en France	114
8.2.1	Description et structure de l'offre de désinsectisation en France	114
8.2.2	Les spécificités et stratégies de l'offre de désinsectisation	118
8.2.3	Synthèse	128
8.3	La demande du service de désinsectisation en France	129
8.3.1	Les particuliers	129
8.3.2	Les établissements d'hébergement touristique	134
8.3.3	Les bailleurs sociaux	136
8.3.4	Demandes potentielles et classements des départements	140
9	Évaluation économique des impacts induits par les infestations aux punaises de lit	142
9.1	Cartographie des acteurs	142
9.1.1	Les ménages	144
9.1.2	Le secteur du logement	145
9.1.3	Autres secteurs économiques	148
9.1.4	Acteurs publics, institutions, associations	148
9.1.5	Synthèse	149
9.2	Perspective adoptée par le GT pour l'estimation des coûts imputables aux punaises de lit	151

9.3	Évaluation économique du fardeau sanitaire	153
9.3.1	Principes généraux de l'évaluation économique du fardeau sanitaire.....	153
9.3.2	Méthodes mobilisables pour l'évaluation des différents types de coûts retenus....	155
9.3.3	Résultats de l'évaluation économique des impacts sur la santé des infestations par les punaises de lit.....	159
9.4	Évaluation économique des coûts de la lutte contre les punaises de lit	168
9.4.1	Coûts de la lutte pour les ménages	168
9.4.2	Coûts de la lutte pour le secteur du logement social.....	171
9.4.3	Coûts de la lutte pour le secteur du logement étudiant	173
9.5	Conclusion sur l'évaluation économique du fardeau associé aux punaises de lit	174
10	Conclusions du groupe de travail	178
11	Recommandations.....	181
11.1	En matière de reconnaissance et de prise en charge.....	181
11.2	En matière de prévention.....	181
11.3	En matière de détection et de diagnostic	183
11.4	En matière de lutte.....	183
11.5	En matière de surveillance.....	184
11.6	En matière de recherche.....	184
12	Bibliographie.....	187
	Annexe 1 : Lettre de saisine	203
	Annexe 2 : Questionnaire de la première phase de l'enquête en population générale	205
	Annexe 3 : Questionnaire de la deuxième phase de l'enquête en population générale	216
	Annexe 4 : Ampleur et prise en charge de la problématique des punaises de lit au sein du parc social en France	230
	Annexe 5 : Statistiques descriptives - Données issues de la 1ère phase d'enquête ..	231
	Annexe 6 : Estimation des facteurs d'inflation de la variance	234
	Annexe 7 : Test de robustesse relatif à l'effet de la variable du revenu annuel net du ménage.....	236
	Annexe 8 : Résultats d'estimation de la modélisation statistique	243
	Annexe 9 : Modes d'action et impacts de différentes classes d'insecticides.....	246
	Annexe 10 : Classement des départements par nombre de désinsectiseurs présents dans le département.....	249
	Annexe 11 : Exemples d'avis Google, consultés le 15/11/2022.....	251
	Annexe 12: Nombre de professionnels ayant un label Punaise de lit par département	254

Annexe 13: présentation de la position divergente pour l'utilisation des insecticides dans la lutte contre les punaises de lit256

Sigles et abréviations

3D	: Désinfestation, Désinsectisation et Dératisation
ACDPL	: Association des Chiens DéTECTeurs de Punaises de Lit
AMi	: Alpes Maritimes Insectes
AMM	: Autorisations de mise sur le marché
ANIL	: Agence nationale pour l'information sur le logement
ANOVA	: Analyse de la variance
Anses	: Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
APL	: Aide Personnalisée au Logement
ATP	: Adénosine triphosphate
BBPDC	: <i>Bed Bug Protect</i> Détection Canine
BPR	: Règlement Biocides
CA	: Chiffres d'Affaires
CAF	: Caisse d'allocations familiales
CAL	: Commissions d'Attribution Locative
CEPA	: Confédération des associations européennes de lutte antiparasitaire
CES	: Comité d'experts spécialisé
CL50	: Concentration létale médiane
CNEV	: Centre National d'Expertise sur les Vecteurs
CNOUS	: Centre National des Œuvres Universitaires et Scolaires
COV	: Composés organiques volatils
CROUS	: Centre Régional Des Œuvres Universitaires Et Scolaires
CSP	: Catégorie socioprofessionnelle
CSTB	: Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
CS3D	: Chambre Syndicale des métiers de la 3D
DALY	: <i>Disability-adjusted life years</i>
DDCS	: Direction Départementale de la Cohésion sociale
DDT	: Dichlorodiphényltrichloroéthane
DDVP	: Dichlorvos
DEET	: N,N-diéthyl-3-méthylbenzamide
DFAS	: Département « Faune et action de salubrité » de la ville de Paris
DGPR	: Direction générale de la prévention des risques
DGS	: Direction générale de la santé

DMP	: Diméthylphthalate
DROM	: Départements et régions d'outre-mer
ECHA	: Agence européenne des produits chimiques
FCBA	: Institut Technologique Foret Cellulose Bois-Construction Ameublement
FCM	: méthode des coûts de friction
GNI	: Groupement National des Indépendants
GT	: Groupe de travail
HLM	: Habitation à loyer modéré
HSPs	: <i>Heat Shock Proteins</i>
IC	: Intervalle de confiance
IDF	: Île-de-France
IgE	: Immunoglobulines E
Ined	: Institut national d'études démographiques
INELP	: Institut National d'Étude et de Lutte contre la Punaise de lit
Insee	: Institut national de la statistique et des études économiques
IPM	: <i>Integrated Pest Management</i>
IR	: infra-rouges
IRAC	: <i>Insecticide Resistance Action Committee</i>
IRIS	: Ilots Regroupés pour l'Information Statistique
kdr	: <i>Knock-down resistance</i>
NAF	: Nomenclature d'activités française
OCDE	: Organisation de coopération et de développement économiques
OR	: Odds ratio
PACA	: Provence-Alpes-Côte-d'Azur
PBO	: Piperonyl butoxide
PECO	: <i>Population, Exposure, Comparators, Outcomes</i>
PIB	: Produit intérieur brut
PICO	: <i>Population, Intervention Comparators, Outcomes</i>
PNSE4	: 4 ^{ème} plan national santé environnement
PR	: Prevalence-Ratio
PRISMA	: <i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
PRODISS	: Syndicat National des Producteurs, Diffuseurs, Festivals et Salles de Spectacle Musical et de variété
QALY	: <i>Quality-adjusted life year</i>
RCP	: Résumé des caractéristiques du produit

RO	:	Régions olfactives
SA	:	Substance active
SEDPCL	:	Syndicat des Experts en Détection Canine des Punaises de lit
SEM	:	Société d'Economie Mixte
S.I.G	:	Systèmes d'information géographique
TC	:	Température critique
TL	:	Temps létal d'exposition
TL99	:	Température létale
TP	:	Types de produits
TPE	:	Très Petites Entreprises
ULO	:	<i>Ultra-low oxygen</i>
UMIH	:	Union des métiers et des industries de l'hôtellerie
USH	:	Union Sociale pour l'Habitat
VIH	:	Virus de l'Immunodéficience Humaine

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des personnes auditionnées.....	7
Tableau 2 : Définition des termes PICO	24
Tableau 3 : Critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour la sélection des références dans le cadre de la revue réalisée sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les punaises de lit ..	25
Tableau 4 : Définition des critères PECO	27
Tableau 5 : Variables analysées dans le cadre de la revue systématique sur les déterminants socio-économiques des infestations	29
Tableau 6 : Résumé des facteurs de risque mis en évidence dans la littérature	46
Tableau 7 Résumé des facteurs de risque mis en évidence par l'enquête réalisée en population générale	58
Tableau 8 : Atteintes cutanées chez les cas présentant des signes en lien avec les punaises de lit ; d'après Blanchon et al. (2020)	61
Tableau 9 : Prise en charge médicamenteuse à l'issue de la consultation chez les personnes impactées ; d'après Blanchon et al. (2020).....	64
Tableau 10 : Méthodes de détection des punaises de lit et leurs limites	70
Tableau 11 : Description des sept niveaux d'infestation en fonction de leur répartition dans le logement, l'immeuble ou le quartier	71
Tableau 12 : Critères d'attribution des qualificatifs utilisés pour caractériser l'efficacité des méthodes de lutte.....	74
Tableau 13 : Critères d'attribution des qualificatifs utilisés pour caractériser le niveau d'incertitude	75
Tableau 14 : Critères d'attribution des qualificatifs utilisés pour caractériser l'applicabilité des méthodes de lutte.....	75
Tableau 15 : Typologie des articles sélectionnés et portant sur les méthodes de lutte physique	76
Tableau 16 : Typologie des articles sélectionnés et portant sur les méthodes de lutte biologique	89
Tableau 17 : Modes d'actions des principales classes d'insecticides utilisées dans la lutte contre les punaises de lit	92
Tableau 18 : Résultats de l'évaluation par les experts du GT de l'efficacité, de l'applicabilité et des risques pour la santé humaine et pour l'environnement pour chaque méthode de lutte	103
Tableau 19 : Typologie des articles sélectionnés dans le cadre de la revue systématique sur les méthodes de lutte et portant sur la gestion intégrée des infestations par les punaises de lit	106
Tableau 20 : Les labels et certifications dans le domaine de la désinsectisation	125
Tableau 21 : Caractérisation de la demande potentielle et classement des départements selon différents critères de demande	141
Tableau 22 : Part des répondants ayant indiqué des infestations de leurs logements	146

Tableau 23 : Illustration des différents types de coûts associés aux effets de santé, d'après Jo (2014).....	155
Tableau 24 : Nombre annuel de cas incidents pour chaque effet de santé induit par une infestation aux punaises de lit (d'après Blanchon et al. (2020), p16)	160
Tableau 25 : Effets de santé mentale et coefficients d'incapacité intégrés dans l'approche calculatoire	165
Tableau 26 : Coût total associé aux effets induits par les infestations par les punaises de lit sur la santé humaine (valeurs moyennes)	166

Liste des figures

Figure 1 : Revue systématique sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les punaises de lit : diagramme de flux PRISMA	26
Figure 2 : Revue sur les déterminants socio-économiques des infestations par les punaises de lit : diagramme de flux PRISMA	28
Figure 3 : Cycle de développement des punaises de lit ; modifié d'après Delaunay et al. (2015)	34
Figure 4 : Principale hypothèse de travail pour la construction de la base de données.....	47
Figure 5 : Distribution des infestations par les punaises de lit en France entre 2017 et 2022 (source : Enquête en population générale)	49
Figure 6 : Étendue de l'infestation à sa découverte (source : Enquête en population générale)	49
Figure 7 : Source de l'infestation rapportée par les répondants (Source : Enquête en population générale)	50
Figure 8 : Les effets en santé mentale induits par les infestations par les punaises de lit ; modifiée d'après Ashcroft et al., (2015)	63
Figure 9 : De gauche à droite, 1) punaises de lit à différents stades de développement, 2) exuvies, (Choe D.-H, University of California, UCR Entomology) et 3) déjections (Lewis et al. 2013)	65
Figure 10 : Exemples de pièges actifs et passifs	67
Figure 11 : Écologie chimique volatile de <i>C. lectularius</i> : synthèse des principales phéromones connues influençant le comportement des punaises de lit ; adaptée d'après Olson (2015) ..	69
Figure 12 : Description des 5 niveaux d'infestation selon Stop punaises	72
Figure 13 : Logigramme décisionnel de mise en œuvre d'un plan d'une gestion intégrée des infestations par les punaises de lit dans les logements collectifs (d'après Bennett et al. (2016)). ..	109
Figure 14 : Les six étapes d'une gestion intégrée des infestations par les punaises de lit ..	111
Figure 15 : Actions mises en place pour se débarrasser des punaises de lit après avoir fréquenté un lieu infesté ; n = 2 000 répondants. (Source : Enquête en population générale)	112
Figure 16 : Types de services professionnels mobilisés pour se débarrasser des punaises de lit ; n = 309 répondants. (Source : Enquête en population générale)	113
Figure 17 : Actions mises en place par les habitants pour se débarrasser des punaises de lit dans leurs domiciles ; n = 346 répondants. (Source : Enquête en population générale)	113
Figure 18 : Évolution du secteur de la 3D en France entre 2016 et 2020	115
Figure 19 : Évolution des entreprises de la 3D ayant au moins un salarié en France	115
Figure 20 : Répartition du CA par taille des 890 entreprises de la désinsectisation ayant au moins un salarié en France	116
Figure 21 : Logo du Certibiocide utilisé par certaines entreprises de la désinsectisation	127
Figure 22 : Carte départementale de densité de population, 2021.....	130

Figure 23 : Répartition des logements sociaux selon leur nombre de pièces (en %)	137
Figure 24 : Typologie des logements parisiens gérés par les bailleurs sociaux	138
Figure 25 : Distributions des poids de la qualité et du prix dans le choix d'un professionnel de la lutte contre les punaises de lit pour les bailleurs sociaux	139
Figure 26 : Cartographie des acteurs concernés par la problématique des punaises de lit et des impacts associés	150
Figure 27 : Bénéfices des politiques de santé publique ou environnementales	153
Figure 28 : Distribution des consultations rapportées entre professions de santé (source : Auteurs à partir de l'Enquête en population générale)	161
Figure 29 : Méthodes de lutte mises en œuvre par les individus victimes d'une infestation par les punaises de lit et montant moyen des dépenses associées	169
Figure 30 : Distributions des infestations par année	170
Figure 31 : Distribution du coût global de la lutte par année (* : année 2022 incomplète) ...	170
Figure 32 : Budget consacré aux interventions de désinsectisation par taille de parc en 2020 en euros (n=62).....	171
Figure 33 : Coût par intervention de désinsectisation en 2020.....	172
Figure 34 : Part des dépenses d'entretien courant en lien avec les punaises de lit en 2020 (n=90).....	173

1. Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

Disparue de notre vie quotidienne dans les années 1950, la punaise de lit a fait son grand retour dans de nombreux pays développés depuis les années 1990. La recrudescence des infestations¹ de punaises de lit s'explique en partie par l'évolution de nos modes de vie de plus en plus nomades, par nos modes de consommation favorisant l'achat de seconde main et par la résistance croissante développée par les populations de punaises aux insecticides. En France, la population et les représentants des collectivités locales restent désarmés face aux infestations par les punaises de lit. Si l'incidence du recours aux soins en médecine générale en raison de l'infestation par des punaises de lit est faible au regard de l'ensemble des consultations effectuées, elle suggère néanmoins un impact non négligeable sur les personnes dont le domicile est infesté (Blanchon et al. 2020). C'est pourquoi, la lutte contre les nuisibles pour la santé humaine, comme les punaises de lit, constitue l'une des priorités du 4^{ème} plan national santé environnement (PNSE4²).

1.2 Objet de la saisine

La Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) ont saisi l'Anses afin de disposer d'une expertise scientifique portant sur :

- les caractéristiques des espèces rencontrées dans les territoires français, notamment au regard de la résistance aux insecticides, et de leur pouvoir éventuel de transmission d'agents infectieux ;
- la compréhension de la dynamique de la présence et de la prolifération des punaises de lit (déterminants bio-écologiques, physiques, techniques, socio-économiques, démographiques, culturels, géographiques, etc.) ;
- les méthodes de lutte contre les punaises et les acteurs qui les développent, afin de déterminer les méthodes les plus efficaces dans le souci de la préservation de la santé des personnes exposées (pendant et après l'utilisation) et leurs effets sur l'environnement ;
- l'identification des bénéfices et des risques éventuels associés aux différentes méthodes de lutte disponibles avec :
 - d'une part, une analyse des risques pour la santé humaine (applicateurs et résidents) et pour l'environnement, notamment pour les méthodes de lutte chimique et les impacts associés ;

¹ Une infestation est la présence d'un nombre anormalement élevé d'insectes, d'animaux ou de micro-organismes dans un endroit, généralement de manière à causer des dommages ou des maladies. En médecine, l'infestation correspond à l'envahissement d'un organisme vivant par un parasite non microbien. Dans le cadre du présent rapport le terme infestation est utilisé pour désigner la présence des punaises de lit dans un habitat ou sur un objet.

² <https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/pnse4-2.pdf>

- d'autre part, une analyse des bénéfices en termes de santé publique (dommages psychologiques évités et qualité de vie préservée).
- les recommandations en matière de prévention contre les infestations.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

Afin d'instruire la présente expertise, l'Anses a mis en place un groupe de travail (GT) composé de neuf experts. Ceux-ci ont été recrutés pour leurs compétences scientifiques et techniques dans les domaines de l'entomologie médicale, de la santé publique, de l'épidémiologie, des maladies infectieuses, de la lutte anti-vectorielle, de l'économie de l'environnement et de la santé.

L'Anses a confié au GT « Punaises de lit », rattaché au comité d'experts spécialisé « Biocides et substances chimiques » (CES BIOCIDES) l'instruction de cette saisine.

Pour réaliser cette expertise, les experts se sont réunis 20 fois entre le 10 janvier 2022 et le 26 avril 2023.

Les travaux d'expertise du GT ont été présentés aux CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques : « Analyse socio-économique » (16 mai et 8 décembre 2022) et BIOCIDES (30 mars et 25 mai 2023), ainsi qu'au GT Vecteurs (7 décembre 2022 et 20 mars 2023). Ils ont été adoptés par le CES BIOCIDES réuni le 25 mai 2023. Le rapport produit par le GT tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres des CES et du GT Vecteurs. Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

1.4 Limites du champ d'expertise

Concernant les méthodes de lutte contre les punaises de lit, la recherche bibliographique s'est focalisée sur les articles concernant l'efficacité des méthodes de lutte, en particulier les méthodes non chimiques. Seules les méthodes pour lesquelles des articles scientifiques publiés dans des journaux à comité de lecture ont été évaluées.

Concernant l'analyse socio-économique, le périmètre de l'évaluation a été limité par le faible nombre de publications scientifiques sur l'étude des déterminants socio-économiques de l'exposition aux punaises de lit de la population générale française et l'absence de publications sur l'évaluation économique du fardeau sanitaire qui leur est associé. Des démarches d'enquêtes ont donc été menées pour compléter et confronter les connaissances disponibles. L'estimation des coûts de la lutte n'a été réalisée que pour certains acteurs (ménages français, bailleurs sociaux, logements étudiants) faute de données disponibles pour les autres acteurs.

Les évaluations, discussions et recommandations figurant dans ce rapport ont été faites en l'état actuel des connaissances scientifiques et sont susceptibles d'être révisées en fonction des évolutions de celles-ci.

1.5 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

2 Méthodologie de l'expertise

2.1 Recherches bibliographiques

2.1.1 Revue sur l'efficacité des méthodes de lutte

Une revue systématique³ de la littérature a été réalisée pour établir un état des connaissances sur l'efficacité des différentes méthodes de lutte contre les punaises de lit. Ce travail de synthèse de la littérature scientifique a été mené en utilisant la méthode PICO « *Population, Intervention, Comparators, Outcomes* » (Tableau 2), afin de répondre à la question suivante : **la méthode utilisée est-elle efficace pour éliminer les populations de punaises de lit ?**

Tableau 2 : Définition des termes PICO

PICO	Définition
Population	<i>Cimex lectularius</i> ou <i>Cimex hemipterus</i>
Intervention	Tout type de traitement (physique, biologique et chimique)
Comparators	Avant/après traitement ou essais contrôlés (avec témoin)
Outcomes	Indicateurs quantitatifs de l'efficacité des méthodes de lutte

2.1.1.1 Choix des mots-clés et sélection des références

Les recherches bibliographiques ont été menées à deux dates (26 février 2022 et 24 septembre 2022) sur Scopus (www.scopus.com) et PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>) sans limitations sur l'année de publication.

La combinaison de mots clés suivante a été validée par le GT pour identifier les références pertinentes par rapport à la question posée.

Sur Scopus :

TITLE-ABS-KEY ((cimex OR bedbug* OR (bed AND bug*) OR lectularius OR hemipterus) AND (control* OR manage* OR treat* OR prevent* OR steam* OR freez* OR heat* OR vacu* OR thermal OR chemical* OR ozone OR UV OR insecticid* OR effic* OR toxic* OR attract* OR repel* OR semiochemical* OR (carbon dioxide) OR (biological control)))

Sur PubMed:

("cimex"[Title/Abstract] OR "bedbug*"[Title/Abstract] OR ("bed"[Title/Abstract] AND "bug"[Title/Abstract]) OR ("bed"[Title/Abstract] AND "bugs"[Title/Abstract]) OR "lectularius"[Title/Abstract] OR "hemipterus"[Title/Abstract]) AND ("control*"[Title/Abstract] OR "manage*"[Title/Abstract] OR "treat*"[Title/Abstract] OR "prevent*"[Title/Abstract] OR "steam*"[Title/Abstract] OR "freez*"[Title/Abstract] OR "heat*"[Title/Abstract] OR "vacu*"[Title/Abstract] OR "thermal"[Title/Abstract] OR "chemical*"[Title/Abstract] OR "ozone"[Title/Abstract] OR "UV"[Title/Abstract] OR "insecticid*"[Title/Abstract] OR

³ Revue systématique : synthèse de la littérature scientifique en réponse à une question précise suivant un protocole clairement défini.

"effic*"[Title/Abstract] OR "toxic*"[Title/Abstract] OR "attract*"[Title/Abstract] OR "repel*"[Title/Abstract] OR "semiochemical*"[Title/Abstract] OR "carbon dioxide"[Title/Abstract] OR "biological control"[Title/Abstract])

La sélection des références à inclure dans la revue bibliographique a été réalisée sur le site CADIMA⁴ (<https://www.cadima.info/index.php>) avec une première étape basée sur la lecture des titres et résumés (prenant en compte les deux premiers critères de sélection présentés dans le Tableau 2 : Population et Intervention), puis une seconde étape basée sur la lecture du texte intégral des articles (prenant en compte l'ensemble des critères). À chaque étape de sélection, chacune des références a été revue par deux lecteurs indépendants en parallèle et les divergences éventuelles dans la sélection ont été résolues sur l'interface proposée par CADIMA.

Les critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour la sélection des références sont présentés dans le Tableau 3. À chaque étape, les références ne répondant pas aux critères d'inclusion/exclusion ont été écartées. Le nombre d'études triées et examinées en vue de leur éligibilité est présenté sous forme d'un diagramme de flux PRISMA (Figure 1).

Les 205 références sélectionnées concernent des études réalisées sur l'utilisation des méthodes de lutte chimique (n=162 dont 12 articles portant sur les silicates, 1 article sur l'ozone gazeux et 7 articles sur les répulsifs), des méthodes de lutte physique (27), des méthodes de lutte biologique (n=7) et la gestion intégrée des infestations par les punaises de lit (n=9).

Tableau 3 : Critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour la sélection des références dans le cadre de la revue réalisée sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les punaises de lit

Item	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Population	<i>Bedbugs, Bed Bugs</i> <i>Cimex lectularius</i> <i>Cimex hemipterus</i>	- Absence de punaises de lit
Intervention	Les études qui apportent des données sur l' efficacité d'un traitement ou d'une méthode de lutte contre les punaises de lit, quel que soit le traitement ou la méthode (physique, biologique, chimique) Cela inclut : - les articles qui évaluent les performances des traitements en laboratoire ou <i>in situ</i> - les articles qui évaluent la mise en place d'une gestion intégrée des infestations par les punaises de lit -les études portant sur l'efficacité des répulsifs (traitement préventif) -les études qui utilisent les attractants pour un piégeage de masse (afin de réduire la population de punaises) - les études qui évaluent la résistance d'une population de punaises suite à un traitement insecticide.	- Absence de traitement -Les études qui utilisent des attractants pour la détection et la surveillance des punaises - Les études portant sur les mécanismes de résistance aux insecticides

⁴ CADIMA : outil informatisé en accès libre permettant de réaliser les différentes étapes qui composent une revue de la littérature.

Item	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Comparator	<ul style="list-style-type: none"> - Comparaison avant/après traitement - Comparaison de plusieurs conditions expérimentales - Essais contrôlés (avec témoin) 	<ul style="list-style-type: none"> - Absence d'un point de comparaison
Outcome	<ul style="list-style-type: none"> - Données qualitatives (présence / absence de punaises) ou semi-quantitatives ou quantitatives sur l'efficacité du traitement 	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de données sur l'efficacité du traitement
Study design	<ul style="list-style-type: none"> - Études de terrain ou de laboratoire 	<ul style="list-style-type: none"> - Revues ou articles de synthèse - Articles de discussion ou d'opinion

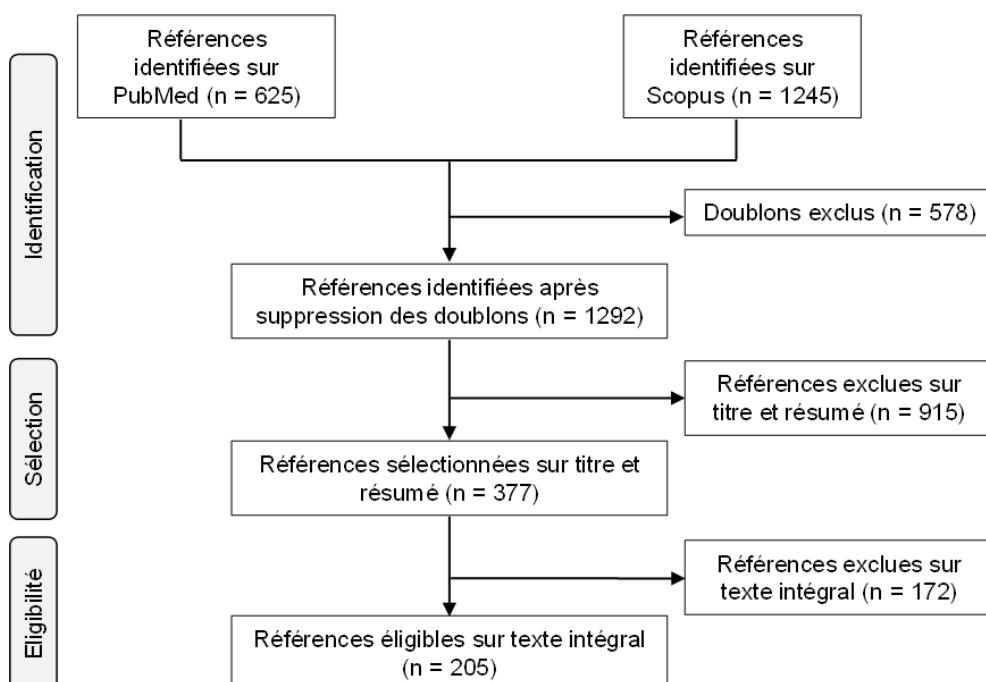


Figure 1 : Revue systématique sur l'efficacité des méthodes de lutte contre les punaises de lit : diagramme de flux PRISMA

2.1.1.2 Extraction des données et analyse de la qualité des articles

Un tableau d'extraction des données a été mis au point pour analyser la qualité des études sélectionnées et leur pertinence par rapport à la question posée. Ce tableau a été rempli par un seul expert à la fois pour chaque étude, mais l'analyse globale a été discutée par l'ensemble du GT.

Le texte de saisine demandait d'analyser les méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique. Ainsi, cette étape d'extraction de données a été réalisée seulement pour les articles portant sur la lutte physique (voir § 7.1), biologique (voir § 7.2) et la gestion intégrée des infestations par les punaises de lit (voir § 7.5). Pour les méthodes de lutte chimique, une synthèse des connaissances a été réalisée par le GT à partir de revues sélectionnées par les experts (voir section 7.3).

2.1.2 Revue sur les déterminants socio-économiques des infestations par les punaises de lit

2.1.2.1 Choix des mots clés

Le groupe de travail a mené une revue systématique de la littérature académique afin d'apporter des éléments de réponses aux questions relatives à la compréhension de la dynamique de présence et de prolifération des punaises de lit.

Ce travail de synthèse s'est intéressé aux articles scientifiques rédigés en anglais ou en français, publiés dans une revue à comité de lecture, sans limite de date de publication et répondant aux critères d'éligibilité détaillés dans le Tableau 4. Ces critères ont été définis à l'aide de la méthode PECO « *Population, Exposure, Comparators, Outcomes* » (Efsa 2010) afin de répondre à la question suivante : **quels sont les déterminants socio-économiques des infestations par les punaises de lit ?**

Tableau 4 : Définition des critères PECO

Item	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion ⁵
<i>Population</i>	Études portant sur des populations/régions présentant des conditions de vie similaires à celles de la population française (régions incluses : Amérique du Nord ; Europe ; Océanie, Asie de l'Est)	Études portant sur des régions situées hors du périmètre géographique défini ci-contre
<i>Exposure</i>	Études traitant <i>spécifiquement</i> du rôle des déterminants socio-économiques sur la survenue d'une infestation par les punaises de lit ou étudiant la prévalence/distribution de ces infestations	Études dont l'objectif ne porte pas sur l'étude du rôle des caractéristiques socio-économiques sur la survenue d'une infestation
<i>Comparator</i>	Études intégrant dans leur échantillon des individus/ménages infestés et non-infestés et traitant les éventuels biais de sélection associés dans l'analyse réalisée	Études n'incluant que des individus/foyers infestés
<i>Outcome</i>	Infestations par l'une ou l'autre des deux espèces de punaises de lit présentes sur le territoire français (<i>C. lectularius</i> ou <i>C. hemipterus</i>)	Autres espèces de punaises ou de nuisants
<i>Méthode</i>	Revue de la littérature ou analyse empirique	<ul style="list-style-type: none"> - Modélisation - Article de synthèse sans méthode de recherche bibliographique spécifiée - Article d'opinion ou de discussion - Article de faible qualité sur le plan méthodologique

Le corpus analysé a été constitué à partir de l'équation de recherche suivante mise en œuvre dans trois bases de données : Scopus, PubMed et CAB Abstracts (recherche effectuée le 23 février 2022).

(TITLE-ABS-KEY (bedbug* OR "bed bug*" OR cimex OR "Cimex lectularius" OR "Cimex hemipterus")) AND (TITLE-ABS-KEY ("risk factor*" OR "socioeconomic factor*" OR "socio-economic factor*" OR factor* OR determinant* OR "socioeconomic determinant*"))

⁵ Les études pour lesquelles le texte intégral n'était pas disponible ont également été exclues du corpus analysé (8 publications exclues pour ce motif).

OR "socio-economic determinant*" OR distribution* OR prevalence* OR epidemiology)) AND (TITLE-ABS-KEY (infestation*))

Cette recherche a permis d'identifier 242 publications qui ont fait l'objet d'une première sélection en double-aveugle sur titre et résumé, puis d'une sélection sur texte intégral. Un total de 8 publications a fait l'objet d'une analyse systématique (voir Figure 2 pour le détail du processus de sélection). La sélection des références a été réalisée sur le site CADIMA (<https://www.cadima.info/index.php>). L'interface disponible sur cette plateforme a notamment permis de traiter les divergences éventuelles dans le cadre de la première étape de sélection.

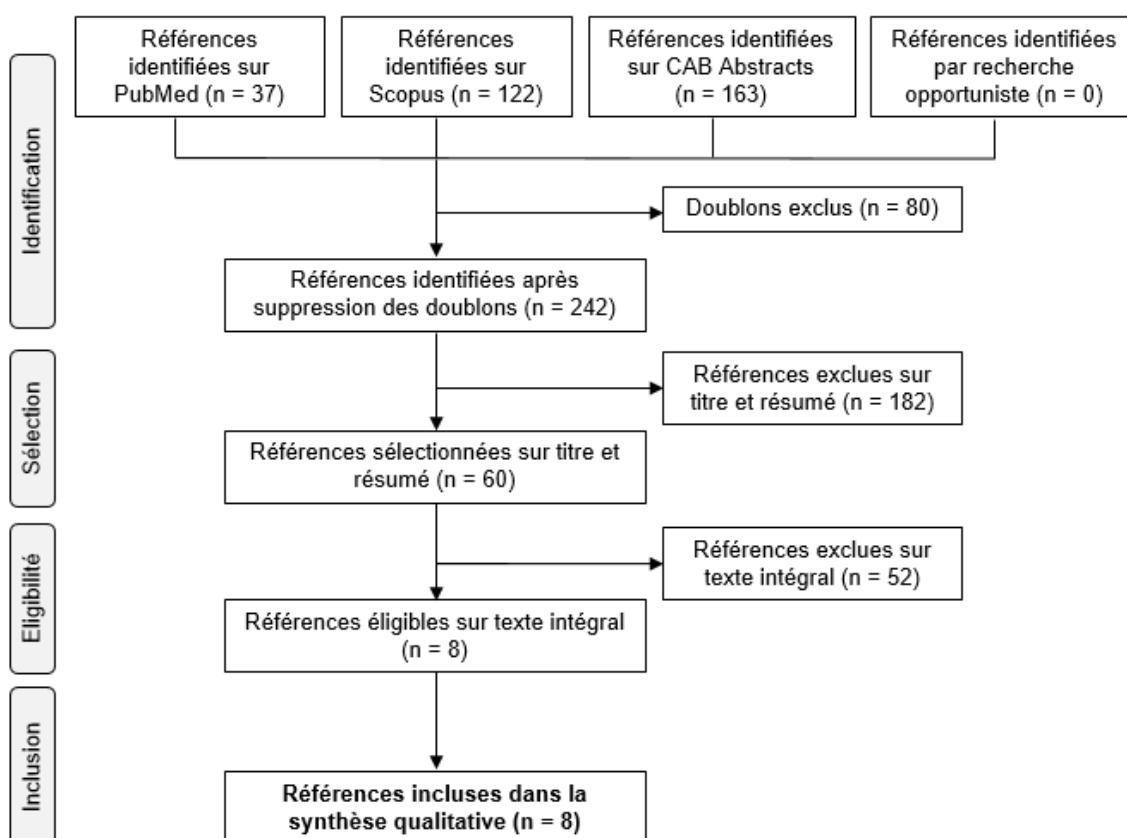


Figure 2 : Revue sur les déterminants socio-économiques des infestations par les punaises de lit : diagramme de flux PRISMA

2.1.2.2 Extraction des données et analyse de la qualité des articles

Un tableau d'extraction des données a été mis au point pour analyser la qualité des études sélectionnées et leur pertinence par rapport à la question posée. Ce tableau inclut des éléments descriptifs et des critères d'évaluation de la qualité des études.

L'ensemble des 8 publications retenues pour l'analyse des déterminants socio-économiques des infestations a fait l'objet d'une analyse selon les variables listées dans le Tableau 5 ci-après. Pour réaliser l'expertise, le tableau d'extraction a été rempli par un seul expert pour chaque étude, mais l'analyse globale a été discutée par l'ensemble du GT.

Tableau 5 : Variables analysées dans le cadre de la revue systématique sur les déterminants socio-économiques des infestations

Variable	Description
Caractéristiques de l'article	
Titre	Titre de l'étude
Auteurs	Noms de l'ensemble des auteurs
Année	Année de publication
Revue	Revue dans laquelle l'étude a été publiée
Discipline	Discipline du premier auteur
Caractéristiques de l'étude	
Espèce	Espèce de punaises responsable des infestations considérées par l'étude : <i>C. lectularius</i> / <i>C. hemipterus</i> / <i>Cimex</i> spp./ Non-précisé
Zone géographique de l'étude	Ville et Pays dans lesquels l'étude a été réalisée
Sous-continent	Amérique du Nord / Europe / Asie de l'Est / Océanie
Période d'étude	Mois / années au cours desquels l'étude a été réalisée
Type de population étudiée	Population générale / Résidents en logements sociaux/ Autre
Effectifs étudiés	Nombre d'observations
Type d'habitat/milieu étudié	Logement social / Logement collectif/Non-précisé / Autre
Indicateur d'infestation	Autodéclaration / Inspections <i>in situ</i> / Interventions de désinsectisation
Échelle de caractérisation socio-économique	Individu / Ménage / Quartier / Autre

2.2 Auditions

2.2.1 Objectif des auditions

Les auditions ont été réalisées afin d'obtenir des données et des informations complémentaires à celles issues de la littérature scientifique sur les déterminants socio-économiques de l'exposition aux punaises de lit, les modalités de lutte contre les punaises mises en œuvre par différents acteurs (opérateurs de terrain, population générale, bailleurs sociaux, logement étudiant, hôtellerie) et les coûts économiques de la lutte pour différents secteurs étudiés.

2.2.2 Préparation et déroulement des auditions

En amont des auditions, une liste de questions, rédigées par l'Anses et les experts du groupe de travail, a été envoyée aux personnes auditionnées une semaine avant l'entretien.

Les auditions se sont déroulées en visioconférence, et duraient environ une heure. Après une présentation de la personne auditionnée et des experts du GT présents, la discussion suivait la trame du questionnaire envoyé.

2.2.3 Traitement et utilisation des informations obtenues

Les experts du groupe de travail ont réalisé un travail d'analyse du contenu de ces auditions. Ils en ont tiré les éléments d'information jugés importants, et les ont utilisés pour alimenter certaines parties du rapport. Cette restitution, qui appartient aux experts du groupe de travail, n'engage aucune des personnes auditionnées, bien qu'elle s'appuie évidemment sur les entretiens conduits avec eux.

2.2.4 Personnes auditionnées

La liste des personnes auditionnées par les experts du groupe de travail figure dans le Tableau 1.

2.3 Démarches d'enquête

2.3.1 Enquête en population générale

Comme évoqué dans la section 1.2, les questions soumises par les Ministères de tutelle au groupe de travail portaient notamment sur la compréhension de la dynamique de présence et de prolifération des punaises de lit. Il s'agissait en particulier d'appréhender les déterminants socio-économiques, démographiques, géographiques et culturels de ces infestations. Dans ce contexte, le groupe de travail a d'une part, mené une revue systématique de la littérature académique relative au rôle des caractéristiques socio-économiques et socio-démographiques sur la prévalence des infestations par les punaises de lit (voir section 2.1.2). Il a d'autre part, inventorié et rassemblé les données disponibles pour la France, afin de documenter ces aspects, en particulier les données issues de démarches d'enquêtes antérieures.

La revue systématique de la littérature académique conduite par le GT a permis d'identifier un nombre très restreint de publications pertinentes portant exclusivement sur des cas d'étude étrangers et dont les résultats ne peuvent être extrapolés au contexte français de manière cohérente. Par ailleurs, le GT a identifié deux enquêtes réalisées en France sur les infestations par les punaises de lit : l'enquête UFC Que Choisir datant de mars 2021(UFC-QUE CHOISIR 2021) et l'enquête réalisée par Ipsos pour le compte de la société Badbugs datant de février 2021 (Ipsos 2021). Cependant, ces enquêtes sont centrées sur les méthodes de lutte mises en œuvre et le degré de satisfaction de l'utilisateur vis-à-vis de ces dernières. Elles ne traitent pas du rôle des déterminants socio-économiques dans l'exposition aux punaises de lit, ni le coût induit par les infestations, pas plus que les impacts en santé humaine si ce n'est de façon partielle. Enfin, il faut souligner les limites de l'enquête UFC Que Choisir en termes de représentativité de l'échantillon⁶. Par conséquent, les résultats de ces enquêtes n'ont pu être mobilisés par le GT que de façon très limitée.

Dans ce contexte, le GT a souhaité conduire une collecte de données *ad hoc* afin de répondre aux questions précitées de la saisine. La conduite d'une enquête en ligne par auto-questionnaire⁷ a été confiée à l'institut de sondage Ipsos (citée ci-après comme Enquête en population générale). Celle-ci s'est déroulée en deux phases.

La première phase de l'enquête visait à mesurer spécifiquement la prévalence des infestations par les punaises de lit au sein des ménages français, ainsi qu'à caractériser les profils socio-économiques et socio-démographiques des ménages et leur lieu de résidence afin d'étudier l'association de ces caractéristiques sur la probabilité d'une infestation. Celle-ci a été conduite du 8 au 20 juillet 2022 auprès d'un échantillon de 2 000 personnes, représentatif de la

⁶ Cette enquête a été réalisée sur un échantillon de 679 inscrits à la newsletter hebdomadaire de Que Choisir. Aucune information supplémentaire n'est fournie quant aux caractéristiques de l'échantillon et son niveau de représentativité.

⁷ Pour les départements et régions d'outre-mer (DROM), la phase 1 de l'enquête a été conduite par le biais d'entretiens téléphoniques.

population française majeure (1 850 personnes interrogées en France métropolitaine et 150 personnes interrogées dans les DROM). La représentativité⁸ de l'échantillon est assurée sur les cinq variables suivantes par le biais de la méthode des quotas : sexe, âge, profession de la personne interrogée, catégorie de l'agglomération de résidence, région de résidence. Le questionnaire d'enquête associé est disponible en Annexe 2. Ainsi, les répondants ont été interrogés selon les principaux axes suivants :

- caractéristiques socio-démographiques du répondant (âge, genre) et du ménage (composition du ménage dont : nombre de mineurs et de personnes âgées de plus de 65 ans, ville et région de résidence) ;
- caractéristiques socio-économiques du répondant (situation professionnelle, catégorie socioprofessionnelle -CSP-, niveau de diplôme) et du ménage (revenu annuel net) ;
- caractéristiques du logement (superficie, type de logement, statut d'occupation du logement⁹) ;
- leur expérience d'un ou plusieurs épisodes d'infestation par des punaises de lit à leur domicile (date de la ou des infestations, mode d'identification de l'insecte, origine et étendue de l'infestation à sa découverte, temps nécessaire pour l'éradication) et hors domicile.

Pour les foyers ayant été victimes d'une infestation, les caractéristiques du répondant, les caractéristiques du ménage ainsi que celles du logement ont été renseignées au jour de l'enquête et au moment de l'infestation. Le revenu annuel du ménage, ainsi que le niveau de diplôme du répondant ont en revanche été renseignés au jour de l'enquête uniquement.

La seconde phase de l'enquête visait à recueillir des éléments relatifs aux méthodes de lutte mises en œuvre par les ménages infestés par des punaises de lit, ainsi que les coûts associés et leur répartition entre les ménages et d'autres financeurs (organismes publics, bailleurs sociaux, propriétaires bailleurs, etc.). Cette seconde phase a également permis de documenter les impacts en termes de santé et de qualité de vie des individus touchés. La phase 2 a été conduite du 20 au 22 juillet 2022 auprès d'un échantillon de 630 personnes ayant été victimes d'une infestation par des punaises de lit. Le questionnaire d'enquête associé est disponible en Annexe 3. Dans le cadre de cette seconde phase, les répondants ont été interrogés selon les axes suivants :

- caractéristiques socio-démographiques du répondant (âge, genre) et du ménage (composition du ménage dont nombre de mineurs et de personnes âgées de plus de 65 ans, ville et région de résidence) ;
- caractéristiques socio-économiques du répondant (situation professionnelle, CSP, niveau de diplôme) et du ménage (revenu annuel net) ;
- caractéristiques du logement (superficie, type de logement, statut d'occupation du logement) ;

⁸ Ces quotas ont été définis à partir de la structure sociodémographique de la population française (France métropolitaine et DROM) établie par l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee). Par ailleurs, l'échantillon a été raisonnable pour bénéficier d'effectifs minimums dans les DROM. A l'issue du terrain, la part des DROM a été remise à son poids réel au moment du traitement des données.

⁹ On entend par statut d'occupation du logement le titre auquel le foyer occupe un logement : propriétaire, locataire (en parc social, hors parc social, en logement étudiant), logé à titre gratuit, bénéficiaire d'un hébergement d'urgence.

- caractéristiques de l'épisode d'infestation¹⁰ (date de la ou des infestations, mode d'identification de l'insecte, origine et étendue de l'infestation à sa découverte) ;
- mise en œuvre de la lutte (méthodes de lutte employées, types d'intervenants mobilisés, temps de travail et/ou de loisir consacré à la lutte, temps nécessaire pour l'éradication) ;
- impact budgétaire de la lutte à l'échelle du foyer (dépenses de lutte, prise en charge par un tiers et impact sur le budget) ;
- impacts de l'infestation sur la santé (symptômes développés, recours à un professionnel de santé, prescription d'arrêts de travail) et la qualité de vie (impacts sur les sorties et loisirs, etc.).

Les caractéristiques du répondant ont été renseignées au jour de l'enquête et au moment de l'infestation, hormis le niveau de diplôme qui a été renseigné au jour de l'enquête uniquement. Les caractéristiques du foyer, ainsi que celle du logement ont été renseignées au moment de l'infestation, hormis le revenu annuel du foyer qui a été renseigné au jour de l'enquête uniquement.

Pour les deux phases de l'enquête, au regard de la faible prévalence des infestations par les punaises de lit estimée par le biais des démarches d'enquêtes antérieures (7 % au cours des cinq dernières années selon l'enquête menée par Ipsos pour la société Badbugs (Ipsos 2021)), l'ensemble des infestations intervenues à domicile au cours des cinq dernières années ont été intégrées au périmètre de l'enquête.

2.3.2 Enquête auprès des bailleurs sociaux

Afin d'évaluer les impacts induits par les punaises de lit, la mise en œuvre des méthodes de lutte et le coût associé à cette lutte pour le secteur du logement en France, le GT a conduit une enquête en ligne auprès de l'Union Sociale pour l'Habitat (USH).

Cette enquête a été conduite du 2 au 25 novembre 2022 par le biais d'un auto-questionnaire en ligne¹¹ diffusé à l'ensemble des adhérents, organismes HLM¹², de l'USH (France métropolitaine et DROM) et administré par l'Anses. Les répondants ont été interrogés selon les principaux axes suivants :

- caractérisation du parc immobilier (taille du parc et localisation à l'échelle du département) ;
- suivi des infestations par les punaises de lit ;
- mise en œuvre de la lutte contre les punaises de lit (dont la mise en œuvre de pratiques de lutte préventive) ;
- recours du secteur du logement social au secteur de la dératisation, désinfection, désinsectisation ;
- dépenses engagées en lien avec les punaises de lit.

Les résultats de cette enquête sont résumés dans la note d'analyse associée au présent rapport (voir Annexe 4), et certains de ces résultats sont discutés dans les chapitres 4, 8 et 9 du rapport.

¹⁰ Ou de l'épisode le plus récent si le foyer a connu plusieurs infestations.

¹¹ L'enquête a été conduite via la plateforme d'enquête en ligne SphinxOnline.

¹² Un logement social ou habitation à loyer modéré (HLM) est un logement construit avec l'aide de l'État et qui est soumis à des règles de construction, de gestion et d'attributions précises. Les loyers sont également réglementés et l'accès au logement conditionné à des ressources maximales.

3 Biologie et comportement des punaises de lit

3.1 Généralités

Les punaises de lit, *Cimex* spp., sont des insectes appartenant à la famille *Cimicidae*, exclusivement hématophages durant toute leur vie (Reinhardt et Siva-Jothy 2007) et fortement associées à l'être humain depuis des millénaires (Panagiotakopulu et Buckland 1999). Ces insectes montrent une préférence pour le sang humain mais peuvent toutefois s'attaquer à d'autres animaux (e.g., volailles) lorsque l'hôte privilégié fait défaut dans leur environnement (Rivnay 1932). En cas de famine, les punaises adultes survivraient quelques mois (2 à 5 mois) sans repas (Polanco, Miller, et Brewster 2011).

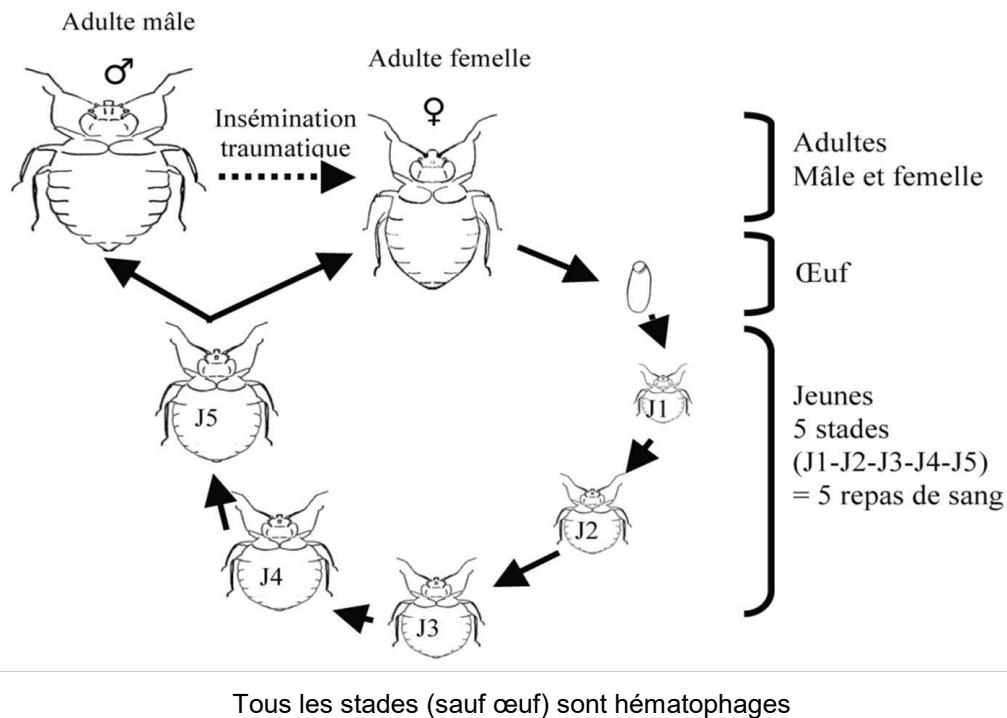
Les punaises de lit hébergent dans des organes spécialisés des endosymbiotes, notamment les bactéries du genre *Wolbachia* (Hosokawa et al. 2009). Ces symbiotes nutritionnels complémentent la punaise de lit en vitamines B (riboflavine et biotine) (Nikoh et al. 2014), qui sont quasiment absentes dans le sang. Ces vitamines sont nécessaires au développement normal et à la fertilité de l'insecte (Hosokawa et al. 2009; Hickin, Kakumanu et Schal, 2022).

Les punaises de lit sont nocturnes et photophobes : elles se rassemblent pendant la journée avec leurs congénères au sein d'agrégats (Gries et al. 2015) situés à proximité de sites de repos de leur hôte, à l'abri de la lumière (Reis et Miller 2011). Elles entrent en activité une fois la nuit tombée, bien que la présence d'un hôte précipite leur recherche alimentaire aussi bien au cours des phases nocturne (i.e., scotophase) que diurne (i.e., photophase) (Aak et al. 2014). Une fois l'hôte trouvé, les individus se gorgent de sang en une dizaine de minutes (Reinhardt et Siva-Jothy 2007) et retournent aussitôt se mettre à l'abri au sein d'un agrégat (Reis et Miller 2011). Tant qu'aucune prise alimentaire n'est concluante, les individus continuent leur recherche. Néanmoins, deux heures avant l'arrivée du jour, la majorité des punaises rejoignent l'agrégat, qu'elles se soient nourries ou non (Reis et Miller 2011).

3.2 Cycle de développement

Après un repas sanguin, les punaises de lit femelles fécondées pondent environ cinq œufs par jour tout au long de leur vie d'adulte dans un endroit abrité (coutures de matelas, crevasses de sommiers, espaces sous les plinthes, etc.). À température ambiante, les œufs éclosent, en 7 à 15 jours environ, en larves de premier stade, qui doivent prendre un repas de sang avant de muer au stade suivant. Les insectes passeront par quatre stades larvaires et un stade nymphal, chacun nécessitant un repas de sang avant de pouvoir passer au stade suivant, le cinquième stade muant en adulte (Figure 3). L'espérance de vie des punaises de lit est de 12 mois en moyenne.

Les larves, bien que dépourvues de bourgeons alaires, ressemblent à des versions plus petites des adultes (métamorphose incomplète). Les larves et les adultes mettent environ 5 à 10 minutes pour obtenir un repas de sang complet. Les adultes peuvent prendre plusieurs repas de sang sur plusieurs semaines, en supposant qu'un hôte soit disponible. L'accouplement implique une forme particulière de copulation appelée « insémination traumatique », par laquelle le mâle pénètre dans la paroi abdominale de la femelle avec ses organes génitaux externes et insémine sa cavité corporelle (Figure 3).



Quelques données de biologie

Temps d'un repas sanguin	10 - 20mn
Temps entre 2 repas	3 - 15 jours
Espérance de vie	12 mois en moyenne
Nombre total d'œufs pondus par une femelle adulte	200 - 500 œufs
Rythme de ponte d'une femelle adulte	5 - 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 2 stades larvaires (repas sanguin obligatoire)	3 - 15 jours

Figure 3 : Cycle de développement des punaises de lit ; modifié d'après Delaunay et al. (2015)

3.3 Comportement de recherche d'hôte

La nuit, les punaises deviennent actives, quittent leur agrégat et recherchent un hôte sur lequel se nourrir en suivant les stimuli thermiques et chimiques (CO_2 , composés volatiles) émis par ce dernier. Certains de ces signaux permettent à la punaise de s'orienter depuis une position éloignée, alors que d'autres n'ont un rôle qu'une fois à proximité de l'hôte (Reinhardt et Siva-Jothy 2007). La distance à laquelle la punaise de lit est capable de détecter un hôte est encore incertaine. Certaines études évoquent une distance maximale de 1,5 m (Anderson et al. 2009), alors que d'autres ont observé un comportement d'orientation dès 6 m (Usinger 1966). Cette distance peut être affectée par les courants d'air susceptibles de transporter les indices chimiques plus ou moins loin.

Chez les insectes, la sensibilité aux odeurs et d'autres stimuli repose sur des poils à la surface de leur corps, appelés "sensilles", qui permettent la détection des signaux présents dans leur environnement. Principalement situées sur les antennes et les pièces buccales, les sensilles de *C. lectularius* sont divisées en trois catégories: olfactives, gustatives et mécano-sensorielles. Ces organes sensoriels peuvent également être munis de récepteurs thermiques et hydriques (Guidobaldi, May-Concha, et Guerenstein 2014).

3.3.1 Orientation thermique

Les punaises de lit sont capables de détecter la chaleur émise par le corps des hôtes à sang chaud et sont attirées par des éléments dont la température dépasse au minimum d'un ou deux degrés celle de l'air ambiant. Cependant, au-delà de 43 °C, la chaleur émise devient répulsive (Siljander 2006; DeVries, Mick, et Schal 2016). La distance à laquelle cette différence de température est perçue est encore incertaine (Siljander 2006), mais d'après l'expérience de Singh et al. (2012), elle serait de l'ordre de 25 cm. Étant donné que c'est la chaleur qui est perçue et non la température en tant que telle, des facteurs comme l'humidité de l'air et la température ambiante peuvent affecter la distance de détection (Lazzari 2009; 2019).

Chez *C. hemipterus*, des récepteurs thermiques ont été identifiés sur le pédicelle antennaire (Weeks et al. 2011; Berry 2021). Des structures similaires ont été observées sur certaines sensilles localisées sur les antennes de *C. lectularius*. Bien que leur rôle ne soit pas encore clairement démontré, les similarités morphologiques avec *C. hemipterus* laissent penser que ces sensilles ont également un rôle dans l'orientation thermique de *C. lectularius* (Olson et al. 2014).

Si certains auteurs considéraient la chaleur comme le facteur influençant majoritairement la localisation de l'hôte (Siljander 2006), ce constat semble être démenti par plusieurs études ayant observé le faible impact de ce stimuli comparé aux stimuli chimiques, notamment lors d'essais de piégeage (Anderson et al. 2009; Wang et al. 2009; Singh et al. 2012). Il faut ainsi considérer que l'approche d'un hôte par un arthropode hématophage est multimodale : plusieurs sens agissent ensemble et guident l'approche de manière séquentielle, la chaleur étant responsable de l'approche finale et de la piqûre (Lazzari 2009; 2019; 2020).

3.3.2 Orientation olfactive

Les substances volatiles émises par l'être humain agissent fortement sur l'orientation de la punaise de lit, justifiant le nombre d'études qui leur sont consacrées (Harraca et al. 2012). Le dioxyde de carbone (CO₂) est un indice reconnu pour agir, seul ou en synergie avec d'autres composés, sur l'activation et l'orientation des insectes hématophages vers leur hôte (Guerenstein et Hildebrand 2008; Lazzari 2009). Il est considéré comme le stimulus ayant la plus grande influence sur le comportement de recherche d'hôte chez les punaises de lit (Anderson et al. 2009; Wang et al. 2009; Aak et al. 2014). Ce gaz serait l'indice le plus représentatif de la présence d'un hôte puisque le remplacement de ce dernier par une source de CO₂ engendre chez *C. lectularius* une agrégation rapide vers la source artificielle de CO₂ (Aak et al. 2014). L'attraction par le CO₂ serait indépendante du débit de son émission (Singh et al. 2012) mais améliorée par l'ajout d'acide lactique (Wang et al. 2009) ou d'un mélange de nonanal, d'1-octen-3-ol, des composés émis par les hôtes vertébrés. Il a été suggéré que d'autres composés sans rapport avec les hôtes seraient également attractifs, tels que les huiles de menthe verte et de coriandre égyptienne (Singh et al. 2012).

La perception et l'activité comportementale induite par plusieurs autres composés volatils émis par l'être humain, seuls ou en mélange, ont été investiguées. Bien que les résultats obtenus pour des composés testés individuellement apportent une base d'information, ceux-ci ne sont pas représentatifs d'une situation réelle où de nombreuses substances pourraient agir en synergie ou de manière additive. De plus, il est courant qu'un composé isolé n'engendre aucune réponse comportementale, mais qu'il soit néanmoins impliqué dans le processus de localisation de l'hôte, lorsqu'il est associé à d'autres molécules sémiochimiques. Par exemple, Singh et al. (2012) ont observé qu'un mélange d'huile de coriandre égyptienne, d'huile de menthe verte, d'1-octen-3-ol et de nonanal a une meilleure attractivité vis-à-vis de *C. lectularius* que chaque composé employé seul. Les tests comportementaux fondés sur un mélange de kairomones (odeurs de l'hôte) ne permettent pas de définir le degré d'implication de chaque composé dans la réponse de l'insecte. De plus, les proportions des composants du mélange peuvent également jouer un rôle dans la réponse induite (Weeks et al. 2011). Par exemple, Harraca et al. (2012) ont récolté les molécules volatiles corporelles de 24 volontaires et ont analysé l'influence du ratio en sulcatone et aldéhydes comportant de 7 à 10 atomes de carbone. Ils constatent que les punaises s'activent davantage à chercher un hôte lorsque le ratio entre ces composés est faible.

Chez la punaise de lit, les sensilles olfactives se trouvent uniquement au niveau des antennes (Steinbrecht et Müller 1976) (cf. encadré ci-dessous).

Organes olfactifs des punaises de lit

Deux régions de l'antenne des punaises de lit portent la plupart des structures sensorielles olfactives (RO) : elles se trouvent toutes les deux sur le segment terminal du flagelle, l'une étant sur la face interne (ROI) et l'autre sur la face externe (ROII) (Levinson et al. 1974; Steinbrecht et Müller 1976). Sept types de sensilles existeraient dont celles nommées C, D et E ayant un rôle olfactif (Levinson et al. 1974; Steinbrecht et Müller 1976). La région olfactive interne comprend six sensilles de type D qui sont divisées en trois groupes distincts (*i.e.*, D α , D β et D γ) (Harraca et al. 2010). Neuf sensilles de type C sont réparties sur la ROI (4) et la ROII (5). Environ 29 sensilles de type E sont réparties sur ces deux régions principalement et sont divisées en deux groupes (*i.e.*, E1 et E2). Ainsi, le système olfactif de la punaise de lit est constitué de 44 sensilles antennaires présentes principalement sur le segment terminal du flagelle (Levinson et al. 1974; Steinbrecht et Müller 1976). Leur répartition reste équivalente entre les individus (Harraca et al. 2010) et ne présente pas de dimorphisme sexuel, mais diffère légèrement chez les larves de premier stade (Levinson et al. 1974; Steinbrecht et Müller 1976).

3.3.3 Communication chimique intraspécifique

Chez les insectes, la communication chimique représente une voie majeure d'interaction avec des congénères. Les punaises de lit ne sont pas une exception et diverses substances, seules ou en combinaison, jouent un rôle important dans la communication intraspécifique (Collins 1968; Levinson et al. 1974; Feldlaufer et al. 2014; Siljander et al. 2008). Parmi ces phéromones, la mieux connue et la plus prometteuse comme outil de lutte est la phéromone d'agrégation, responsable du rassemblement des individus dans les abris. Des 14 composés identifiés dans la phéromone, 10 semblent essentiels pour l'action biologique (Siljander et al.

2008). L'existence d'une phéromone d'alarme a été également décrite. Sa fonction semble liée à avertir les congénères d'un danger ou d'une situation délétère et à le faire se disperser (Levinson et al. 1974).

3.3.4 Orientation tactile et visuelle

L'orientation de la punaise de lit par des stimuli tactiles ou visuels est encore très peu documentée (Singh, Wang, et Cooper 2015). L'antenne de cet insecte dispose de récepteurs mécaniques lui permettant de percevoir le contact physique, des vibrations et les courants d'air (Steinbrecht et Müller 1976). Les punaises de lit préfèrent se déplacer sur des surfaces à la texture légèrement rugueuse, celles trop lisses l'empêchant de grimper et celles trop rugueuses (e.g., feutre) l'empêtrant dans ses mouvements (Singh, Wang, et Cooper 2015). Dans une pièce, les punaises de lit s'orientent préférentiellement vers les éléments verticaux pouvant faire penser aux pieds du mobilier. Les supports de couleur foncée (noire, brune ou rouge) sont également préférés (Singh, Wang, et Cooper 2015).

3.4 Mobilité

Comprendre le mouvement et la dispersion de la punaise de lit dans des conditions de terrain est important pour le contrôle des infestations et pour gérer la propagation des punaises de lit vers de nouveaux endroits. Pourtant, les recherches sur les capacités locomotrices des punaises sont limitées.

Haynes (2008) a rapporté que dans des conditions de laboratoire, les punaises de lit peuvent parcourir jusqu'à 4,9 m en cinq minutes, et ont suggéré qu'elles peuvent parcourir de plus grandes distances pendant la nuit, lorsqu'elles sont actives pendant plusieurs heures d'affilée. Pfiester, Koehler, et Pereira (2009) ont étudié le comportement d'agrégation dans des conditions de laboratoire et ont suggéré que les larves du premier stade étaient le stade de développement le moins susceptible de se disperser activement et que les femelles adultes récemment nourries étaient les plus susceptibles de s'éloigner des agrégats. Dans une autre étude en laboratoire, How et Lee (2010a) ont examiné la distance parcourue par différents *C. hemipterus* et ont conclu que la distance parcourue variait considérablement en fonction du stade de développement, du sexe et de l'état d'alimentation.

Un nombre limité d'études a examiné le comportement de dispersion des punaises de lit dans des conditions de terrain. Cooper, Wang et Singh (2015) ont évalué les capacités de déplacement des punaises de lit à l'intérieur et entre des appartements voisins, en utilisant la technique de marquage-libération-recapture combinée à une surveillance des appartements à l'aide de pièges de type « à fosse » (en anglais *pitfall*). La distribution des punaises de lit marquées et non marquées dans ces appartements et appartements voisins suggère des mouvements importants de punaises de lit entre appartements. La colonisation de nouveaux appartements par déplacement des punaises s'est produite quel que soit le nombre de punaises de lit relâchées ou la présence/l'absence d'un hôte.

4 Étude de l'association entre les caractéristiques socio-économiques des ménages et la dynamique d'infestation par les punaises de lit

Cette section s'intéresse à l'influence des caractéristiques socio-économiques, socio-démographiques et aux caractéristiques du logement sur la dynamique d'infestation par les punaises de lit. Par souci de concision, l'ensemble de ces éléments sont rassemblés sous le terme de « caractéristiques socio-économiques ».

4.1 État des connaissances

Cette première section restitue le résultat de l'analyse des publications retenues dans le cadre de la revue systématique de la littérature conduite par le GT (voir section 2.1.2 pour une description de la méthode mise en œuvre). Il est à noter ici que ces études sont toutes localisées sur des territoires restreints, des quartiers ou des villes, dans des pays à niveaux de développement proches de celui de la France.

4.1.1 Caractéristiques du corpus analysé

La totalité des publications analysées relèvent d'études menées à l'étranger. En effet, **six publications portent sur des études réalisées aux États-Unis** (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Gounder et al. 2014; Wang et al. 2016; Sheele et al. 2019; McLafferty, Schneider, et Abelt 2020; Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020). On dénombre également **une étude réalisée à Hong-Kong** (Fung et al. 2021), ainsi **qu'une publication portant sur la ville d'Oslo** en Norvège (Rukke, Roligheten, et Aak 2022).

Les indicateurs considérés par les auteurs afin de définir la présence d'une infestation par des punaises de lit varient notamment d'une étude à l'autre. Quatre études s'appuient sur des données d'inspections *in situ* du logement, ces dernières étant conduites soit dans un contexte de gestion du parc immobilier (Rukke, Roligheten, et Aak 2022) ou de mission d'hygiène et de salubrité à Chicago (Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020), soit dans le cadre d'un protocole de recherche mené dans 4 villes de l'état du New-Jersey (Wang et al. 2016). Pour ces études, le caractère infesté d'un logement est donc constaté avec certitude. Gounder et al. (2014) s'appuient quant à eux sur des données issues d'un suivi systématique du nombre de logements situés à New-York et ayant bénéficié d'une ou plusieurs interventions de désinsectisation contre des punaises de lit, ce suivi étant réalisé par un bailleur social dans le cadre de la gestion de son parc. Cet indicateur présente un niveau de fiabilité moindre en comparaison des études évoquées ci-dessus. Les auteurs ne sont pas en capacité de conclure si celui-ci induit une sur- (certaines interventions ont pu avoir lieu dans des logements non-infestés) ou une sous-estimation du nombre d'infestations (la présence de punaises de lit étant stigmatisante, certains ménages ont pu ne pas déclarer une infestation à leur domicile). Trois des publications analysées portent sur des données de déclaration d'infestation (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Sheele et al. 2019; Fung et al. 2021). Ce type d'indicateurs présente le niveau de fiabilité le plus faible. Ralph, Jones et Thorpe (2013) considèrent plus spécifiquement qu'un

logement est infesté dès lors que les occupants ont déclaré avoir eu recours à un service de désinsectisation (ville de New-York). Enfin, l'étude de McLafferty, Schneider, et Abelt (2020) s'appuie sur une comparaison entre des données de déclarations d'infestations dans la ville de New York sur toute l'année 2015 via une application¹³ et des données issues des contrôles menés dans les logements par des inspecteurs habilités à constater la présence ou non de punaises de lit, suite à ces signalements via l'application.

Par ailleurs, les publications analysées étudient les infestations par les punaises de lit **au sein de populations hétérogènes**. En effet, **trois publications considèrent exclusivement des populations résidant en logement social** (Gounder et al. 2014; Wang et al. 2016; Rukke, Roligheten, et Aak 2022). **Trois autres articles s'appuient sur l'étude d'un échantillon de la population générale** (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020; Fung et al. 2021), jugé représentatif par les auteurs dans deux de ces études (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020). L'étude de McLafferty, Schneider, et Abelt (2020) repose sur un échantillon de la population uniquement issu des déclarations faites sur une application et leur permettant de signaler la présence de punaises de lit dans leur logement à New York, quel que soit le quartier où elles résident. Enfin, une étude repose sur l'examen de dossiers de patients ayant bénéficié de soins dans un service d'urgence ayant par ailleurs déclaré une infestation par des punaises de lit à leur domicile (Sheele et al. 2019). Ainsi, en fonction de la population étudiée, les résultats produits par ces études ne permettent pas de conclure avec le même degré de généralité sur l'association entre les caractéristiques socio-économiques et socio-démographiques des ménages et la probabilité d'infestation par les punaises de lit.

On peut également noter l'hétérogénéité des échelles d'unités d'observation mobilisées dans ces publications et qui font ensuite l'objet d'une caractérisation socio-économique. Trois des articles analysés étudient l'émergence d'une infestation par des punaises de lit à l'échelle d'un individu (Wang et al. 2016; Sheele et al. 2019; Fung et al. 2021). Deux des études analysées s'intéressent à l'échelle du ménage (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Gounder et al. 2014) : certaines variables étant renseignées à l'échelle de l'individu interrogé pour le ménage (genre, niveau d'éducation, âge, pays de naissance, présence de handicap) et d'autres à l'échelle du ménage dans son ensemble (revenu, composition du ménage, caractéristiques du logement). Enfin, on dénombre trois publications menant une analyse à l'échelle du quartier ou secteur de recensement, ce dernier étant caractérisé par le biais de statistiques publiques agrégées (McLafferty, Schneider, et Abelt 2020; Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020; Rukke, Roligheten, et Aak 2022).

Enfin, on peut également noter la diversité des choix méthodologiques effectués pour l'analyse de données. Rukke, Roligheten, et Aak (2022) étudient l'association entre le statut socio-économique des ménages à l'échelle du quartier et la prévalence des infestations par les punaises de lit en s'appuyant sur une ANOVA¹⁴ et un test de Wilcoxon-Mann-Whitney. Sheele et al. (2019) investiguent, quant à eux, l'impact de plusieurs variables socio-économiques et socio-démographiques sur le fait de déclarer une infestation en s'appuyant sur une ANOVA (variables continues) et des tests du khi 2 (tests d'indépendance pour les variables catégorielles). De façon similaire, Wang et al. (2016) mettent en œuvre de simples tests

¹³ Application qui ne concerne pas seulement les déclarations d'infestations en punaises de lit mais tout problème lié à des questions environnementales ou sociales pour leur logement en particulier ou dans leur quartier en général.

¹⁴ L'ANOVA est une analyse de la variance : cette méthode statistique permet de tester l'effet d'un ou plusieurs facteurs sur les moyennes d'une variable quantitative.

d'indépendance (tests de *khi* 2) afin d'identifier un éventuel effet du genre et des caractéristiques communautaires sur la présence d'une infestation. Les autres publications analysées sont basées sur une analyse multivariée et s'attachent à identifier les facteurs de risque et facteurs de protection pour les infestations par les punaises de lit. Ainsi Ralph, Jones, et Thorpe (2013) et Fung et al. (2021) s'appuient sur une régression logistique pour mettre en évidence les facteurs associés à une infestation. Gounder et al. (2014) considèrent le nombre d'interventions de désinsectisation effectuées au sein d'un même logement et investiguent cette même question en s'appuyant sur un modèle de Poisson. L'étude de McLafferty, Schneider, et Abelt (2020), de son côté, cherche à savoir si une déclaration de présence de punaises de lit via l'application plus générale mise en place par la ville de New York correspond bien à la présence effective de punaises de lit dans le logement, et met ainsi en évidence certains déterminants de type socio-économique pour expliquer l'existence d'une telle divergence. Pour cela, grâce à la géolocalisation des individus indiquant être impactés via la déclaration soumise, puis l'utilisation de données issues des recensements et du cadastre, les auteurs analysent dans un premier temps de possibles corrélations entre la présence ou non de punaises de lit après inspection et des variables socio-économiques spatialisées via un modèle de régression logistique à effets mixtes sur trois niveaux. Ensuite, les auteurs ont cherché à identifier les facteurs socio-économiques et environnementaux à l'origine des infestations de punaises de lit signalées, via une régression binomiale négative, s'appuyant d'une part sur les déclarations d'infestation faites par unités géographiques de recensement, puis ensuite sur les logements étant réellement infestés après inspection. Enfin, Sutherland, Greenlee, et Schneider (2020) cherchent à expliquer la proportion de logements infestés à l'échelle d'un quartier correspondant à un périmètre d'inspection ; pour ce faire, ils estiment un modèle de régression généralisée avec réponse binomiale. Parmi ces publications, trois d'entre elles prennent explicitement en compte une éventuelle multicolinéarité dans la régression (Gounder et al. 2014; Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020; Fung et al. 2021)¹⁵.

4.1.2 Mise en évidence des déterminants de l'apparition et de la persistance des infestations par les punaises de lit

Le corpus analysé étudie l'influence de trois catégories de variables sur l'émergence d'infestations par les punaises de lit :

- caractéristiques socio-démographiques : âge, genre, composition du ménage (nombre d'individus dans le ménage, nombre et âge des enfants, nombre de personnes âgées) ;
- caractéristiques socio-économiques : niveau de diplôme, revenu, caractéristiques du logement, niveau de revenu / de pauvreté du voisinage ;
- autres variables : handicap, recours à la seconde main, taux d'expulsion à l'échelle du quartier.

Concernant l'effet des caractéristiques socio-démographiques :

- trois des publications analysées ont étudié l'**effet de l'âge** sur le risque de survenue d'une infestation (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Gounder et al. 2014; Fung et al. 2021). Ralph,

¹⁵ Fung et al. (2021) ne fournissent pas de détails sur les variables susceptibles d'induire de la multicolinéarité. Sutherland, Greenlee, et Schneider (2020) identifient un excès de corrélation entre revenu médian et valeur médiane du logement. Les auteurs font le choix d'écartier cette dernière variable du modèle. Enfin, Gounder et al. (2014) identifient un excès de corrélation entre le nombre de personnes au sein du foyer et le nombre de chambres au sein du logement. Les auteurs font là aussi le choix d'écartier cette dernière variable du modèle.

Jones, et Thorpe (2013) montrent que l'âge de l'individu interrogé pour le ménage influence significativement la probabilité d'une infestation : les individus âgés de 18 à 24 ans (Odds-Ratio (OR) ajusté : 2,0 ; 95 % IC : [1,1 ;3,6]) ; ainsi que les 25-44 ans (OR ajusté : 1,8 ; 95 % IC: [1,1 ;2,8]) présentent un sur-risque d'infestation significatif (au seuil de 5 %) par rapport aux individus âgés de plus de 65 ans. Le risque d'infestation des 45-64 ans ne diffère pas significativement de celui de la classe de référence. Gounder et al. (2014) montrent que les ménages dont le chef de famille appartient à la classe d'âge 30–44 ans (OR : 0,9; 95 % IC : [0,8 ;1,0]) ou à la classe d'âge 45–61 ans (Prevalence-Ratio (PR) ajusté =0,9; 95 % IC : [0,8 ;1,0]) présentent un risque d'infestation significativement moindre par rapport à la classe de référence au seuil de 5 % (*i.e.*, ménages dont le chef de famille appartient à la classe d'âge 18-29 ans). Dans cette étude, l'effet protecteur de l'âge apparaît cependant comme particulièrement modéré au regard de la valeur des ratios de prévalence et des intervalles de confiance associés. Les auteurs ne mettent pas en évidence de différence significative en termes de prévalence des infestations entre la classe de référence et les ménages dont le chef de famille est âgé de plus de 62 ans. Enfin, Fung et al. (2021) montrent qu'appartenir à la classe d'âge 45 - 64 ans induit une augmentation significative de la probabilité d'infestation par rapport aux individus de plus de 65 ans (classe de référence ; effets significatifs au seuil de 5 %). Les individus appartenant aux classes d'âge 0-24 ans et 25-44 ans présentent un risque d'infestation similaire à celui de la classe de référence ;

- **l'effet de la composition du ménage** sur la probabilité d'une infestation a été étudié par cinq des publications analysées (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Gounder et al. 2014; C. Wang et al. 2016; Sheele et al. 2019; Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020). Ralph, Jones, et Thorpe (2013) montrent que le nombre d'adultes influence significativement la probabilité d'une infestation au niveau du ménage (au seuil de 5 %) : un ménage composé de trois adultes ou plus présente un risque d'infestation significativement plus élevé par rapport à un ménage comportant un seul adulte (OR ajusté : 1,6 ; 95 % IC: [1,1 ;2,4]). Les auteurs ne démontrent par ailleurs aucun effet du nombre d'enfants. Gounder et al. (2014) démontrent l'existence d'une corrélation positive entre le nombre d'enfants au sein d'un ménage et la prévalence d'infestations par les punaises de lit, sans toutefois mettre en évidence un effet significatif de ces variables sur la probabilité d'infestation par le biais de l'analyse multivariée. Sutherland, Greenlee, et Schneider (2020) quantifient la part d'individus mineurs et de personnes âgées de plus de 65 ans au sein d'un quartier (unité d'observation), mais ne démontrent aucune influence de ces variables sur la part de logements infestés. Sheele et al. (2019) montrent que les patients déclarant être victimes d'une infestation par des punaises de lit à leur domicile sont susceptibles de compter, au sein de leur ménage, un plus grand nombre d'adultes par rapport aux individus non-impactés. Les auteurs ne démontrent par ailleurs aucun lien entre la probabilité d'infestation et le nombre d'individus mineurs au sein du ménage ou le nombre de personnes âgées de plus de 65 ans. Quatre des publications analysées explorent **l'impact du genre** sur la probabilité d'infestation par des punaises de lit (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Gounder et al. 2014; Wang et al. 2016; Fung et al. 2021). Seuls Gounder et al. (2014) démontrent une association significative entre la prévalence des infestations et l'appartenance à un ménage dont le chef de famille est une femme (PR ajusté =1,1; 95 % IC : [1,0 ; 1,2]). Là encore, l'effet de cette variable apparaît cependant comme particulièrement modéré au regard de la valeur des ratios de prévalence et des intervalles de confiance associés.

Concernant l'effet des caractéristiques socio-économiques :

- quatre des publications analysées ont étudié **l'effet du niveau d'éducation** sur la probabilité de survenue d'une infestation (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Sheele et al. 2019; Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020; Fung et al. 2021). Seuls Fung et al. (2021) mettent en évidence un effet significatif de cette variable : les auteurs montrent que le fait d'avoir bénéficié d'un faible niveau d'éducation (études primaires ou moins) induit une augmentation significative de la probabilité d'infestation par rapport aux individus ayant fait des études supérieures (OR = 9,43 ; 95 % IC : [3,12 ; 28,44]) ;
- **l'effet du revenu** est étudié par six des publications analysées (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Gounder et al. 2014; Sheele et al. 2019; Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020; McLafferty, Schneider, et Abelt 2020; Fung et al. 2021). Ralph, Jones, et Thorpe (2013) s'intéressent également à l'influence du niveau de pauvreté du quartier sur le risque d'infestation à l'échelle du ménage. McLafferty, Schneider, et Abelt (2020) et Rukke, Roligheten, et Aak (2022) investiguent quant à eux l'influence du statut socio-économique du quartier sur la prévalence des infestations à l'échelle du quartier. Fung et al. (2021) montrent que le fait d'avoir un revenu inférieur au revenu médian induit une augmentation significative de la probabilité infestation (OR = 1,69 ; 95 % IC : [1,15 ; 2,5]). Sutherland, Greenlee, et Schneider (2020) mettent en évidence une relation négative significative entre le revenu médian des ménages à l'échelle du secteur de recensement et la prévalence des infestations. En revanche, Gounder et al. (2014) mettent en évidence un « effet pauvreté » : les auteurs démontrent l'existence d'une corrélation positive entre le fait, au niveau du ménage, d'avoir un revenu inférieur au seuil de pauvreté fédéral ou de bénéficier d'une aide publique et la prévalence d'infestations par les punaises de lit, sans toutefois mettre en évidence un effet significatif de ces variables sur la probabilité d'infestation. De leur côté, Ralph, Jones, et Thorpe (2013) montrent qu'un ménage dont le revenu n'atteint pas le double du seuil de pauvreté fédéral présente un sur-risque d'infestation significatif (OR ajusté = 2,8 ; 95 % IC : [1,9 ; 4,0]). Les auteurs montrent également que le fait de résider dans un quartier présentant un niveau de pauvreté élevé (*i.e.*, situé dans le dernier tiers de la distribution des revenus) induit une augmentation significative de la probabilité d'infestation à l'échelle du ménage (OR ajusté = 1,9 ; 95 % IC : [1,1 ; 3,1]). Sheele et al. (2019) ne mettent en évidence aucun effet du revenu sur la probabilité d'être victime d'une infestation au moment de la consultation. McLafferty, Schneider, et Abelt (2020) montrent qu'à New York, habiter dans un quartier à faible revenu¹⁶ et mélangeant des immeubles d'habitations et des commerces de toutes sortes¹⁷ entraîne plus facilement le fait que les inspecteurs observent la présence de punaises de lit suite à une déclaration faite volontairement par ces habitants, si l'on compare avec des déclarations faites par des habitants dans des quartiers de New York plus aisés et où les inspecteurs n'ont finalement pas observé la présence de punaises de lit lors de leur visite. Mais, de manière plus globale, un plus grand nombre de déclarations émanait en majorité de quartiers plus défavorisés de New York (quartiers plus densément peuplés, avec des revenus faibles à intermédiaires et peuplés surtout de locataires). De même, les auteurs soulignent que les déclarations d'infestations par les punaises de lit ne montrent pas une

¹⁶ Ici, plus précisément, il est question des données du cadastre de la ville sur la valeur immobilière des logements comme indicateur du niveau de richesse de leurs habitants.

¹⁷ Par comparaison avec des quartiers uniquement résidentiels, donc considérés comme étant habités par des personnes plus aisées.

sur-représentation de déclarants habitant dans des quartiers moins aisés de la ville, contrairement aux déclarations qui se sont conclues par la réelle présence de punaises de lit après visite d'inspecteurs. Finalement, selon eux, il existe un biais important : les personnes les moins aisées manquent de ressources financières pour mettre en œuvre les traitements contre l'infestation dans leur logement, ou alors, s'ils sont locataires, sont plus susceptibles de voir leurs propriétaires ne pas prendre en charge ces coûts, ce qui est moins le cas chez des personnes vivant dans des zones plus résidentielles et donc plus aisées. Les conditions socio-économiques n'expliquent donc pas forcément l'occurrence d'une infestation, mais plutôt la persistance de celle-ci dans le temps. En effet, les populations plus aisées ont des moyens financiers plus importants pour mettre en place les méthodes de lutte et ce suffisamment rapidement. Ces populations sont donc en mesure de mettre en œuvre des actions de désinsectisation de leur logement entre le moment où ils ont déclaré la présence de punaises de lit et celui où les inspecteurs sont venus constater qu'il n'y en avait pas (ou plus)¹⁸. Enfin, selon Rukke et al. (2022)¹⁹ les quartiers dont les habitants ont un statut socio-économique supérieur à la moyenne présentent une prévalence d'infestation par les punaises de lit significativement plus élevée.

- **l'impact des caractéristiques du logement** sur la probabilité d'infestation est étudié par cinq des publications analysées : une part de ce corpus s'intéresse à l'impact de la sur-occupation du logement (Gounder et al. 2014; Sutherland, Greenlee, et Schneider 2020; Fung et al. 2021) tandis qu'une autre part s'intéresse à la nature du logement (*i.e.*, logement partagé, logement collectif, etc. (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Sheele et al. 2019; Fung et al. 2021). Fung et al. (2021) montrent que le fait de bénéficier d'une **surface inférieure à 11 m² par personne** au sein d'un logement induit une augmentation significative de la probabilité d'infestation (OR = 1,55 ; 95 % IC : [1,06 ; 2,28]). De façon similaire, Sutherland, Greenlee, et Schneider (2020) démontrent qu'une augmentation de la part des logements sur-occupés à l'échelle du secteur de recensement induit une prévalence d'infestations par les punaises de lit significativement plus forte à l'échelle de ce même secteur. Enfin, Gounder et al. (2014) mettent en évidence un effet opposé, selon lequel vivre dans un foyer sur-occupé serait associé à une plus faible prévalence des infestations (PR ajusté = 0,9; 95 % IC : [0,8 ; 1,0]). Cet effet apparaît cependant comme particulièrement modéré au regard de la valeur du ratio de prévalence et des intervalles de confiance associés. Concernant la nature du logement, Fung et al. (2021) montrent que **le fait de résider dans un logement partagé** (« *subdivided flat* ») induit une augmentation significative de la probabilité d'infestation (OR = 16,53 ; 95 % IC : [1,01 ; 269,72]). Sheele et al. (2019) montrent que les personnes **vivant dans un foyer collectif** sont plus susceptibles de souffrir d'une infestation par des punaises de lit ; le niveau de significativité statistique (permettant de juger de la fiabilité de l'association démontrée) associé à ce résultat n'est cependant pas documenté dans l'étude. Enfin, Ralph, Jones, et Thorpe (2013) mettent en évidence un effet protecteur significatif lié au

¹⁸ Dans cette étude, les inspecteurs mettent souvent plus de trois semaines pour se déplacer dans le logement, et n'indiquent pas dans leur rapport de visite s'ils ont interrogé les habitants du logement sur la mise en œuvre de traitements de désinfestation entre temps. Cela serait pourtant ici utile pour confirmer l'hypothèse des auteurs indiquant que, finalement, la prévalence des punaises de lit n'est pas forcément automatiquement corrélée avec des conditions socio-économiques dégradées des habitants.

¹⁹ L'indice comprend les composantes suivantes : accès à l'aide sociale, niveau de mortalité, accès à une assurance invalidité, financement de la réinsertion, chômage et aides sociales supplémentaires pour les individus/foyers isolés.

type de logement : **le fait de vivre dans un immeuble d'un à deux logements** a un impact négatif et significatif sur la probabilité d'infestation, comparativement aux immeubles de plus de cinquante logements (OR ajusté= 0,4 ; 95 % IC : [0,3 ; 0,7]).

Enfin, le corpus analysé met en évidence l'effet de variables ne relevant pas des caractéristiques socio-démographiques et socio-économiques sur la probabilité d'infestation. Ainsi, Fung et al. (2022) mettent en évidence un sur-risque lié au **recours aux objets de seconde main**, le recours à cette pratique induisant une augmentation significative de la probabilité d'infestation (OR = 2,97 ; 95 % IC : [1,16 ; 7,58]). Sutherland, Greenlee, et Schneider (2020) montrent qu'une augmentation du **taux d'expulsion à l'échelle du quartier** (secteur de recensement) induit une augmentation significative de la prévalence des infestations par les punaises de lit. Les auteurs expliquent ce dernier effet par le fait qu'expulser les occupants d'un logement constitue un facteur de dispersion des punaises à l'échelle du quartier comme cela a par ailleurs été montré par Xie et al. (2019).

4.1.3 Discussion

La nature particulièrement restreinte du corpus disponible, l'hétérogénéité des variables considérées, des méthodologies employées pour l'analyse de données ainsi que des contextes d'étude ne permet pas de dégager d'effets clairs quant à l'impact des caractéristiques socio-démographiques et socio-économiques sur la dynamique d'infestation par les punaises de lit. **Cependant, on peut noter une relative convergence des effets identifiés pour quelques variables bien spécifiques** : effet de l'âge, du revenu et de la composition du foyer. Le GT propose ici une discussion de ces effets et de l'interprétation associée.

Concernant l'effet de l'âge, l'hétérogénéité des classes d'âge de référence considérées ainsi que des contextes d'étude empêchent de conclure sur l'identification d'un effet clair de la variable « âge du répondant » ou « âge du chef de famille » sur la prévalence des infestations par les punaises de lit. **Il semblerait cependant que les âges « actifs », voire un jeune âge (mineurs et jeunes adultes), constituent un facteur de risque**. Fung et al. (2021) **associent les âges actifs à la fréquentation d'un nombre plus important de lieux par un individu**. Ralph, Jones, et Thorpe (2013) suggèrent que le jeune âge est associé à la mise en œuvre de comportements spécifiques en termes de sociabilité mais aussi à un usage plus important de lieux potentiellement infestés (e.g., transports, écoles, bibliothèque, etc.) ainsi qu'à la mise en œuvre de comportements à risque (e.g., recours à la seconde main, fréquence des voyages).

Concernant l'effet de la composition du ménage, là encore, il est peu aisé de conclure de façon robuste sur l'impact de cette variable sur la probabilité d'infestation. **Cependant, la littérature suggère l'existence a minima d'une corrélation positive entre cette dernière et le nombre d'adultes au sein d'un ménage**. Ainsi, **la probabilité d'être victime d'une infestation par des punaises de lit augmente avec le nombre d'adultes au sein du ménage**. Gounder et al. (2014) expliquent ce sur-risque par le fait qu'un plus grand nombre de personnes dans le ménage induit une multiplication des lieux fréquentés et ainsi la possibilité d'une contamination des effets personnels par des punaises adultes ou œufs. D'autre part, les auteurs suggèrent que les ménages les plus nombreux vivent dans de plus

grands appartements²⁰, ces derniers présentant une surface de contact et donc de contamination plus grande. Ralph, Jones, et Thorpe (2013) soulignent que plus le nombre d'adultes au sein d'un ménage est important, plus celui-ci est susceptible de compter des jeunes adultes présentant un niveau de sociabilité élevé associé à un plus grand risque de contamination.

Enfin, la **variable « revenu »** est celle pour laquelle on possède le meilleur niveau de convergence des études analysées : un faible revenu est associé à une moindre capacité financière pour mettre en œuvre des actions de lutte mais aussi à l'existence de conduites à risque telles que le recours plus fréquent aux objets de seconde main. L'effet du revenu est toutefois à considérer avec précaution. En effet, pour rappel, seules deux publications reposent sur un échantillon jugé « représentatif » de la population générale et trois considèrent uniquement un échantillon de résidents en logement social²¹. Pour ces dernières en particulier, les populations présentant un niveau de revenu moyen ou élevé ne sont par définition pas observées et les conclusions ne sont pas valides à l'échelle de l'ensemble de la population. De plus, étudier la prévalence des infestations en s'appuyant sur des données de recours à un service de désinsectisation via un bailleur²² ou des services municipaux ou encore des données d'inspection *in situ* ne permet pas de se prémunir totalement contre un biais en faveur des populations défavorisées. En effet, les populations présentant un niveau de revenu plus élevé peuvent faire appel à un service de désinsectisation de leur propre chef et mettre fin à l'infestation de façon précoce, ce qui n'indique pas l'absence à un moment donné de punaises de lit dans leur logement, ni le fait que celles-ci aient pu infester des logements mitoyens avant l'action de désinsectisation si celle-ci se cantonne au logement indiqué (McLafferty, Schneider, et Abelt 2020). De telles populations ne seront pas captées par un indicateur de recours « centralisé » à un service de désinsectisation et pourront également échapper à une inspection *in situ* (McLafferty, Schneider, et Abelt 2020). Enfin, aucune étude analysée n'a investigué des hébergements touristiques (hôtels notamment). Or, ces types d'hébergement peuvent accueillir des populations à revenus et conditions socio-économiques supérieurs à ceux que l'on retrouve dans les études analysées. **Il pourrait donc y avoir un biais en termes de prévalence d'infestations par des punaises de lit étant donné que la plupart de ces études ne se concentrent que sur les quartiers et populations défavorisées.**

²⁰ La variable relative à la taille du logement (mesurée par les auteurs sur la base du nombre de pièces) n'est pas contrôlée dans le modèle final estimé par les auteurs.

²¹ Celle de McLafferty, Schneider, et Abelt (2020) ne discutant pas de la représentativité de l'échantillon de la population considérée dans leur étude.

²² Lorsque la population étudiée est uniquement constituée de résidents en logement social – comme c'est le cas pour Gounder et al. (2014) – ce problème ne se pose pas puisque l'échantillon est déjà biaisé.

Tableau 6 : Résumé des facteurs de risque mis en évidence dans la littérature

Variables étudiées (faible nombre de publications)	Facteurs de risque mis en évidence dans certaines publications
Caractéristiques socio-démographiques	<ul style="list-style-type: none"> ○ Jeune âge (mineurs et jeunes adultes) /âge actif ○ Nombre d'adultes au sein du foyer
Caractéristiques socio-économiques	<ul style="list-style-type: none"> ○ Faible niveau de diplôme ○ Effet « pauvreté » (revenu) ○ Logement partagé
Autres caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> ○ Recours aux objets de seconde main ○ Expulsion du logement

4.2 Étude de l'association entre les caractéristiques socio-économiques des ménages et la dynamique d'infestation des punaises de lit

Si les études analysées dans la section précédente ne portaient que sur des territoires restreints (quartiers, villes) dans des pays développés (États-Unis, Norvège, Hong-Kong notamment), cette section va s'attacher à étudier les caractéristiques socio-économiques face à la dynamique des infestations observées sur toute la France (métropole et DROM).

4.2.1 Analyse des résultats de l'enquête *ad hoc*

Ce chapitre étant centré sur l'étude de l'association entre les caractéristiques socio-économiques des ménages et l'émergence d'une infestation par des punaises de lit à l'échelle du ménage (*i.e.*, la probabilité d'infestation), cette section s'appuie uniquement sur l'analyse des données produites dans le cadre de la première phase de l'enquête en population générale (voir section 2.3.1 pour une description détaillée de la méthode d'enquête).

4.2.1.1 Construction de la base de données de l'enquête

4.2.1.1.1 *Base de comparaison des foyers infestés et non-infestés*

L'objectif de cette analyse est d'étudier l'association entre les caractéristiques socio-économiques des ménages et l'émergence d'une infestation par des punaises de lit à l'échelle du ménage (*i.e.*, la probabilité d'infestation).

Comme évoqué à la section 2.3.1, la démarche d'enquête mise en œuvre a permis de recueillir les informations sur les variables associées à deux niveaux :

- Le genre, l'âge, la situation professionnelle, la catégorie socio-professionnelle ainsi que le niveau de diplôme sont relevés à l'échelle du répondant, sans que celui-ci soit nécessairement la personne de référence du ménage²³ ;
- Les variables suivantes sont relevées à l'échelle du ménage : composition du ménage (dont nombre de mineurs et de personnes âgées de plus de 65 ans), revenu annuel, ainsi

²³ Ce terme s'entend au sens Insee (pour une définition voir : <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1944>).

que les caractéristiques du logement (superficie, type de logement, statut d'occupation du logement²⁴, ville et région de résidence).

Par ailleurs, comme évoqué à la section 2.3.1 également, la démarche d'enquête a permis de renseigner les caractéristiques socio-économiques de façon différenciée pour les ménages ayant été victimes d'une infestation au cours des cinq dernières années et ceux n'ayant jamais été affectés par une telle infestation. En effet, pour ces deux types de ménages, on relève les caractéristiques socio-économiques au jour de l'enquête. Par ailleurs, pour les ménages infestés, les caractéristiques socio-économiques sont également renseignées au moment de l'infestation (néanmoins, le revenu annuel du ménage ainsi que le niveau de diplôme du répondant ont été renseignés au jour de l'enquête uniquement).

Dans le cadre de cette analyse, la probabilité d'être victime d'une infestation par des punaises de lit a été étudiée en considérant d'une part, les caractéristiques socio-économiques des ménages non-infestés au jour de l'enquête et d'autre part, les caractéristiques socio-économiques des ménages infestés au moment de l'infestation²⁵. Les variables explicatives testées dans le cadre de l'analyse statistique ont été construites sur cette base (Figure 4).

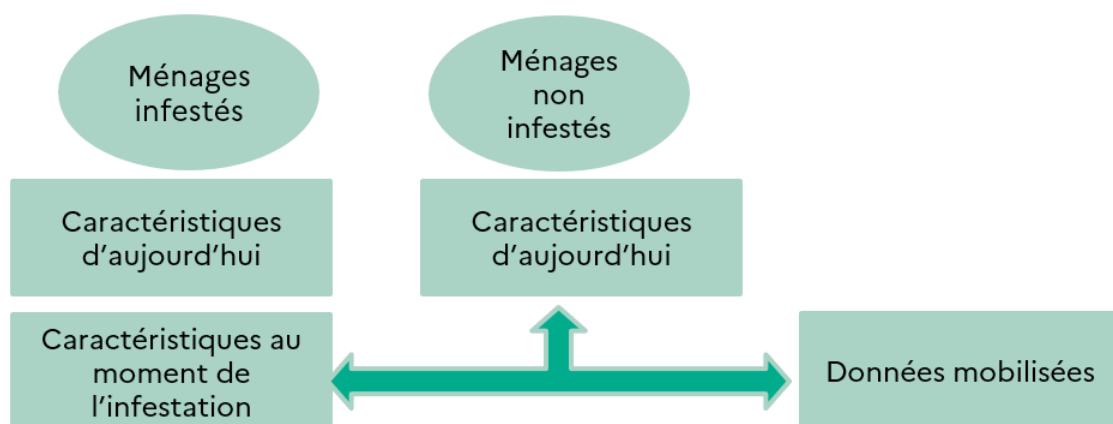


Figure 4 : Principale hypothèse de travail pour la construction de la base de données

4.2.1.1.2 Statistiques descriptives des données de la première phase d'enquête

L'échantillon constitué dans le cadre de cette première phase de l'enquête (2 000 répondants) est représentatif de la population française majeure au regard des cinq variables suivantes : genre, âge, profession de la personne interrogée, catégorie de l'agglomération de résidence, région de résidence (voir l'Annexe 5 présentant les statistiques descriptives pour l'ensemble des variables recueillies sur l'échantillon analysé)²⁶.

²⁴ Pour rappel, il est entendu par "statut d'occupation du logement" le titre auquel le foyer occupe un logement : propriétaire, locataire (en parc social, hors parc social, en logement étudiant), logé à titre gratuit, bénéficiaire d'un hébergement d'urgence.

²⁵ Cette hypothèse de travail a été mise en œuvre par le GT en raison de la faible prévalence des infestations. Il a donc été décidé d'élargir la fenêtre temporelle de collecte afin de rassembler un nombre d'observations suffisant pour la conduite des estimations. La démarche mise en œuvre par le GT ne visant par ailleurs à évaluer l'impact d'un traitement exogène réalisé sur un groupe d'individus, le GT n'a pas jugé nécessaire de vérifier la comparabilité des deux groupes considérés (i.e., impactés et non-impactés).

²⁶ Ces statistiques descriptives sont présentées après redressement, la population des DROM étant notamment surreprésentée dans l'échantillon. Le redressement a été effectué à l'aide du logiciel STATA par le biais de la commande « [aweight=PSD] ».

Celui-ci compte 52,4 % de femmes et 47,6 % d'hommes. L'âge moyen est de 48,7 ans. Concernant le niveau de diplôme, 50,9 % des répondants sont titulaires d'un diplôme de l'enseignement supérieur²⁷, 22 % sont titulaires du baccalauréat et 27 % des répondants possèdent un diplôme d'un niveau inférieur au baccalauréat ou aucun diplôme. La catégorie socio-professionnelle la plus représentée est celle des retraités (27,7 %), suivie des employés (16,5 %) et des professions intermédiaires (15,3 %). L'échantillon compte 55,23 % d'actifs (dont 45 % de salariés à plein temps, 6,1 % de salariés à temps partiel, 4,13 % de travailleurs indépendants), 41,34 % d'inactifs (dont 4,79 % d'hommes/femmes au foyer, 3,84 % de personnes en incapacité de travail, 5,01 % de personnes en recherche d'emploi et 27,7 % de retraités) et 3,31 % d'étudiants. Concernant les caractéristiques de l'habitat, 60,9 % des répondants habitent une maison, 38 % un appartement. On dénombre 0,9 % de répondants occupant une chambre dans un logement partagé (ex : colocation). La majorité des répondants est propriétaire de son logement (59,3 %). On dénombre par ailleurs 19,40 % de locataires hors parc social, 13,7 % de locataires en logement social. On compte 5,82 % de répondants logés à titre gratuit, 1,18 % sont locataires en logement étudiant et 0,53 % sont bénéficiaires d'un hébergement social²⁸. La surface moyenne de l'habitation est de 96,64 m². Concernant la région de résidence, on peut distinguer la région Île de France, représentant 18 % de l'échantillon ainsi que la région Auvergne-Rhône-Alpes qui totalise près de 12 % de l'échantillon. Les résidents des DROM représentent 2,8 % de l'échantillon. Concernant la composition du ménage, on observe majoritairement des foyers composés de deux individus (39,9 %) puis d'un et trois individus (20,5 % et 18,5 %). Par ailleurs, 69,4 % des ménages ne comptent aucun individu mineur. Les ménages comptant un, deux ou trois mineurs représentent respectivement 16,3 %, 10,6 % et 2,69 % de l'échantillon. Les ménages comptant quatre mineurs ou plus représentent 1,01 % de l'échantillon. Soixante-sept pourcent des ménages ne comptent aucun individu âgé de plus de 65 ans. Les ménages comptant un, deux ou trois individus de plus de 65 ans représentent respectivement 15,9 %, 16,3 % et 0,55 % de l'échantillon. Les ménages comptant quatre individus de plus de 65 ans ou plus représentent 0,2 % de l'échantillon. Enfin, concernant la distribution du revenu annuel net des ménages au sein de l'échantillon, 15,9 % d'entre eux se situent dans la tranche de revenu [36 001 € ; 48 000 €], suivie de la tranche [24 001 € ; 30 000 €] (14,4 %) puis de la tranche [30 001 € ; 36 000 €] (13,9 %).

Au sein de l'échantillon, **11,26 % des répondants rapportent avoir été victimes d'une infestation par des punaises de lit à leur domicile entre 2017 et 2022 (six ans)** (7,22 % des répondants déclarent avoir été impactés une seule fois, contre 4,04 % plusieurs fois ; voir Annexe 5). Par ailleurs, 8 % des répondants indiquent avoir été confrontés à une infestation de punaises de lit avant 2017 (une seule fois pour 5,8 % et plusieurs fois pour 2,3 %). La Figure 5²⁹ présente la répartition des cas d'infestations relevées au cours des cinq dernières

²⁷ L'échantillon étudié ne semble pas représentatif de la population française pour cette variable. En effet selon l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), 40 % de la population française âgée de 25 à 64 ans est diplômée de l'enseignement supérieur. Malgré le fait que l'enquête menée par le GT considère une diversité de classes d'âge plus importante en comparaison de la population pour laquelle est produite cette statistique, il est peu probable que le niveau de diplôme des « 18-25 ans » et les « 65 ans et plus » explique l'écart de 11 points constaté.

²⁸ Le terme « hébergement social » recouvre notamment les types d'hébergement suivants : foyer de jeunes travailleurs, centre d'hébergement et de réinsertion sociale, centre d'hébergement d'urgence.

²⁹ Le lecteur notera que la somme des pourcentages présentés dans cette figure est supérieure à 100 %. Cela s'explique par le fait qu'un même répondant peut avoir été victime d'une ou plusieurs infestations tandis que le dénominateur correspond au nombre de foyers infestés sans distinction du nombre

années : l'année 2019 rassemble la plus grande part d'infestations. On observe toutefois une diminution du nombre d'infestations rapportées après 2019. L'étendue de l'infestation à sa découverte était le plus souvent réduite (voir Figure 6) : l'infestation était limitée au lieu de repos dans 53 % des cas et commençait à se répandre à proximité de celui-ci dans 35 % des cas (au sommier, table de chevet, tapis, etc.). Dans 12 % des cas rapportés, l'infestation concernait ensemble de l'habitation (8 %) ou au-delà (4 %).

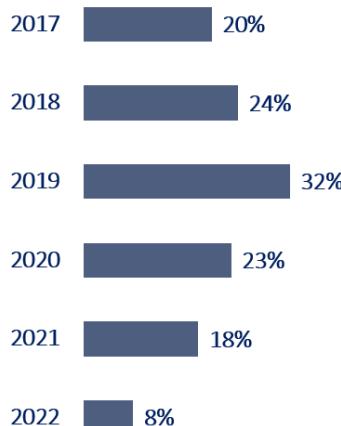


Figure 5 : Distribution des infestations par les punaises de lit en France entre 2017 et 2022
(source : Enquête en population générale)

Note : il est à noter que sur la totalité des 11,26% des personnes sondées ayant déclaré avoir été victimes d'une infestation par des punaises de lit à leur domicile, certaines ont déclaré avoir été impactées plusieurs fois sur la période 2017-2022



Figure 6 : Étendue de l'infestation à sa découverte (source : Enquête en population générale)

L'infestation a été confirmée par un professionnel dans 49 % des cas (identification de l'insecte). Dans 44 %, les répondants affirment qu'il s'agissait bien de punaises de lit mais ont identifié l'insecte par eux-mêmes. Enfin, 7 % des répondants ayant déclaré une infestation à domicile ont un doute sur le fait qu'il s'agissait bien de punaises de lit.

Concernant l'origine de l'infestation, la majorité des répondants pense être en mesure d'identifier cette dernière. La Figure 7 rapporte l'origine de l'infestation telle que déclarée par

d'épisodes d'infestations. S'il a été victime de plusieurs infestations, le répondant a indiqué pour chacune d'elle l'année correspondante.

les répondants. Le premier facteur d'infestation rapporté est celui d'un séjour (en hôtel ou dans un autre type de lieu), suivi par le recours aux objets de seconde main.



Figure 7 : Source de l'infestation rapportée par les répondants (Source : Enquête en population générale)³⁰

4.2.1.1.3 Transformation de variables pour la modélisation statistique

Dans le cadre de la construction du modèle statistique détaillé dans la section 4.2.1.2, plusieurs variables ont dû faire l'objet d'une transformation.

La variable à expliquer, relative au fait d'avoir été ou non victime d'une infestation par les punaises de lit au cours des cinq dernières années, comportait trois modalités à l'origine (voir Annexe 5). L'estimation d'un modèle polytomique (*i.e.*, à plus de deux modalités) initialement envisagée n'a pas été possible du fait d'un trop faible nombre d'observations pour des infestations multiples (modalité « Oui, plusieurs fois »). La variable polytomique d'origine a donc été transformée en une variable dichotomique : la modalité « Non, jamais » ayant été transformée en « Non » et les deux autres modalités (« Oui, une fois » et « Oui, plusieurs fois ») ayant été regroupées sous une seule modalité « Oui ».

La variable « revenu net annuel du ménage », qui présentait initialement 13 modalités, a été transformée. Certaines catégories de revenu ont été regroupées afin d'approcher le plus possible la distribution des revenus en déciles telle que définie par l'Insee³¹. Par ailleurs, l'existence d'un « effet pauvreté », analogue à celui mis en évidence dans la littérature (Ralph, Jones, et Thorpe 2013; Gounder et al. 2014), a été étudié. Pour ce faire, la variable « revenu annuel du ménage » a été transformée en deux étapes. Tout d'abord, le revenu mensuel moyen du ménage (en €/personne/mois) a été calculé en affectant à chaque ménage le revenu annuel médian de sa classe de revenu, en mensualisant celui-ci, puis en le divisant par le

³⁰ Le lecteur notera que la somme des pourcentages présentés dans cette figure est supérieure à 100 %. Cela s'explique par le fait que les répondants avaient la possibilité d'indiquer plus d'une source d'infestation tandis que le dénominateur correspond au nombre de foyers infestés.

³¹ voir « Revenu disponible des ménages » (page insee.fr, dernière consultation le 21/03/2023)

nombre d'individus (adultes et enfants) au sein du ménage³². Dans un second temps, une variable dichotomique « seuil de pauvreté » a été définie : cette variable prend pour valeur « 1 » si le revenu mensuel moyen du ménage est inférieur au seuil de pauvreté, elle prend pour valeur « 0 » si celui-ci est supérieur ou égal au seuil de pauvreté. Dans cette transformation, on considère un seuil de pauvreté spécifique à la composition du ménage tel que défini par l'Insee³³. La variable « seuil de pauvreté » a été déclinée en plusieurs variantes considérant des valeurs seuil égales à 100 %, 150 % et 200 % du seuil de pauvreté.

Enfin, l'introduction de la variable « surface du logement » induisant de la multicolinéarité au sein du modèle estimé, cette variable a également fait l'objet d'une transformation. La surface disponible par personne a été calculée en divisant la surface du logement par le nombre de personnes au sein du ménage. Cette même variable a fait l'objet d'une seconde transformation en variable dichotomique, visant à explorer l'existence d'un effet relatif à la sur-occupation du logement. Cette variable « sur-occupation » prend la valeur « 1 » si la surface disponible par personne est inférieure à 9 m², et prend la valeur « 0 » dans le cas contraire³⁴. Par ailleurs, cette variable présentait des valeurs manquantes (n=165). Cependant, pour certaines valeurs manquantes (n=157), les individus avaient renseigné la surface approximative de leur logement sous forme d'intervalle. Les valeurs manquantes ont donc été traitées en affectant à chaque ménage la valeur centrale de l'intervalle renseigné.

4.2.1.2 Modèle estimé

Après suppression des valeurs aberrantes³⁵, la probabilité d'avoir été victime d'une infestation par des punaises de lit au cours des cinq dernières années a été estimée comme fonction des caractéristiques du répondant, des caractéristiques du ménage, ainsi que de celles du logement par le biais d'un logit dichotomique. Le modèle³⁶ suivant a été considéré :

$$\text{logit } p_\beta(x) = \beta_0 + \beta_I X_I + \beta_M X_M + \beta_L X_L + \epsilon$$

³² A titre d'illustration, un ménage de cinq personnes dont le revenu annuel est situé entre 30 001 et 36 000 euros se voit affecter un revenu mensuel moyen de 550 euros par personne ($550 = \left(\frac{33\,000}{12}\right) \times \frac{1}{5}$).

³³ Voir : « Revenu disponible mensuel correspondant au seuil de pauvreté selon la composition familiale – Données annuelles 2019 » (page insee.fr, dernière consultation le 28/10/2022).

³⁴ La construction de cette variable dichotomique s'appuie sur le critère de décence du logement relatif à sa surface tel qu'appliqué par les commissions d'attribution locative d'Action Logement : « La préoccupation des Commissions d'Attribution Locative (CAL) est d'apprécier la typologie d'un logement à attribuer afin qu'il ne présente ni sur-occupation, ni sous-occupation lors de sa mise en location. Il est pris comme référence, en règle générale, les surfaces habitables suivantes : • 9 m² minimum pour 1 personne, • 16 m² pour 2 personnes puis 9 m² par personne supplémentaire. » (<https://www.actionlogement.fr/quelle-typologie-de-logement-pourquelle-personne> dernière consultation le 24/10/2022). Ces critères convergent avec les critères réglementaires fixés pour les logements en colocation.

³⁵ 10 observations ont été supprimées. Il s'agit d'observations pour lesquelles le répondant a renseigné un nombre de mineurs et/ou de personnes âgées de plus de 65 ans supérieur à la taille globale du ménage.

³⁶ Ce modèle s'appuie sur trois hypothèses principales :

hypothèse d'exogénéité ($(E(\epsilon|X = 0))$: indépendance du terme d'erreur et des variables explicatives ; hypothèse d'homoscédasticité (distribution indépendante et identique des perturbations aléatoires du modèle) ; la fonction de répartition des perturbations aléatoires du modèle est supposée connue (modèle paramétrique). Ces dernières suivent une loi logistique de densité $f(\epsilon) = \frac{\exp(-\epsilon)}{(1+\exp(-\epsilon))^2}$ et de fonction de répartition $F(\epsilon) = \frac{\exp(\epsilon)}{1+\exp(\epsilon)}$

Avec $p_\beta(x) = P(Y = 1|X=x)$ et $\text{logit } p_\beta(x) = \frac{\ln p_\beta(x)}{1-p_\beta(x)}$.

Ici, $Y = 1$ signale une situation d'infestation au cours des cinq dernières années ; le terme X_I renvoie aux caractéristiques du répondant³⁷, X_M aux caractéristiques du ménage³⁸, X_L aux caractéristiques du logement³⁹ et ϵ au terme d'erreur.

Les points de validation suivants ont été considérés lors de la construction du modèle :

- afin d'écartier la présence de multicolinéarité, le modèle final a été ré-estimé sous la forme d'une régression linéaire simple pour laquelle les facteurs d'inflation de la variance ont été estimés. Les résultats de cette estimation, fournis en Annexe 6Annexe 6, suggèrent l'absence de multicolinéarité ;
- afin d'étudier la robustesse de l'effet relatif à la variable de revenu et après une première estimation « en bloc », le modèle a été ré-estimé pas à pas en ajoutant une à une les variables relatives aux caractéristiques socio-économiques du ménage à une forme réduite du modèle contenant uniquement des variables socio-démographiques ainsi que la variable de revenu. Les résultats fournis en Annexe 7 sont discutés plus amplement à la section suivante (4.2.1.3), et montrent une faible robustesse de l'effet relatif à cette variable de revenu ;
- enfin, la spécification choisie a permis de gérer une éventuelle hétéroscédasticité.

Le choix des références considérées pour les variables catégorielles a été opéré sur la base des catégories retenues par le logiciel d'estimation, le logiciel Stata sélectionnant automatiquement la première catégorie comme référence permettant d'optimiser celle-ci. Le GT a opté pour une catégorie de référence alternative lorsque le choix arrêté par le logiciel ne permettait pas de comparer les résultats de la présente étude avec ceux produits dans la littérature existante et/ou lorsque celui-ci choisissait pour référence une variable dont le GT souhaitait étudier spécifiquement l'effet. Ainsi, la classe d'âge « 65 ans et plus » a été choisie comme classe de référence à des fins de comparaison avec la littérature existante. La catégorie de revenus « 60 001 € et plus » a été choisie comme classe de référence afin d'étudier l'effet des plus faibles revenus. Enfin la région Occitanie étant la région française la plus peuplée pour laquelle le GT ne souhaitait pas étudier d'effet spécifique, cette dernière a été choisie comme région de référence.

4.2.1.3 Résultats d'estimation de la modélisation statistique

Les résultats d'estimation sont fournis par l'Annexe 8. Celui-ci restitue à la fois les effets associés aux variables explicatives sous la forme d'OR et d'effets marginaux moyens. Seuls les effets marginaux moyens sont interprétés dans le rapport. **L'ensemble des interprétations s'entendent « toutes choses égales par ailleurs ».** Par ailleurs, les effets associés aux variables explicatives sont soumis au seuil de significativité de 10 %. Le lecteur intéressé pourra consulter l'Annexe 8 pour prendre connaissance du niveau de significativité associé à chaque variable.

On peut observer que le **nombre d'individus mineurs** au sein du ménage induit une augmentation de la probabilité d'infestation : le fait de compter un individu mineur au sein du

³⁷ Âge, genre, CSP, situation professionnelle et niveau de diplôme.

³⁸ Revenu annuel net, nombre de personnes au sein du ménage, nombre de mineurs et de personnes âgées de plus de 65 ans.

³⁹ Surface, type de logement, statut d'occupation, région de résidence.

ménage – relativement à l'absence d'individus mineurs au sein du foyer – induit une augmentation de la probabilité d'infestation de 0,04⁴⁰. De façon similaire, le fait de compter deux, trois ou quatre individus mineurs et plus au sein du ménage – relativement à l'absence d'individus mineurs au sein du foyer – induit une augmentation de la probabilité d'infestation de 0,055, 0,104 et 0,087 respectivement. Néanmoins, il convient de considérer avec précaution l'effet relatif à la présence d'un ou deux mineurs au sein du ménage. En effet, si l'effet relatif à la présence de trois mineurs au sein du ménage apparaît robuste, cela n'est pas le cas des deux premières catégories (voir Annexe 7).

Le **nombre d'individus âgés de plus de 65 ans** au sein du ménage ne semble en revanche ne pas avoir d'impact sur la probabilité d'infestation. On note par ailleurs un effet significatif de **l'âge du répondant**. Appartenir aux catégories d'âge suivantes est associé à un sur-risque d'infestation relativement au fait d'être âgé de plus de 65 ans : être âgé de moins de 24 ans induit une augmentation de la probabilité d'infestation de 0,11; être âgé de 25 à 34 ans et de 35 à 49 ans induit une augmentation de la probabilité d'infestation de 0,1 et 0,07 respectivement. Les individus âgés de 50 à 64 ans ne présentent pas de sur-risque d'infestation par rapport à la population de référence.

Concernant l'effet du **revenu**, on observe qu'un ménage dont le revenu net annuel se situe entre 12 001 et 15 000 euros, entre 18 001 et 21 000 euros ou entre 21 001 et 24 000 euros présente une probabilité d'infestation inférieure de 0,05, 0,06 et 0,09 respectivement comparativement à un ménage dont le revenu annuel net est supérieur à 60 001 euros (catégorie de référence). Là aussi, il convient de considérer ces résultats avec précaution : les tests dont les résultats sont fournis en Annexe 7 montrent la faible robustesse de ces effets. En effet, la variable de revenu ne présente aucun effet significatif dans la forme réduite du modèle et l'effet en lien avec les catégories de revenu « 12 001-15 000 € », « 18 001-21 000€ » ou entre « 21 001-24 000€ » devient significatif à l'ajout des variables « statut d'occupation du logement », « statut professionnel » et « type de logement » respectivement. On peut émettre l'hypothèse que cette modification du niveau de significativité de la variable de revenu est induite par une corrélation entre cette dernière et les variables relatives au logement et au statut professionnel.

Concernant le **statut professionnel**, seule la catégorie « en incapacité de travail » présente un effet significatif sur la probabilité d'infestation par rapport à un emploi salarié à plein temps (catégorie de référence) : ainsi les individus en incapacité de travail présentent une probabilité d'infestation augmentée de 0,06 par rapport à une personne en emploi salarié à plein temps.

Par ailleurs, on observe que

les **caractéristiques du logement** influencent la probabilité d'infestation via plusieurs canaux. En effet, le fait d'habiter dans un appartement induit une augmentation de la probabilité d'infestation de 0,04 par rapport au fait d'habiter une maison. De façon similaire, habiter une chambre dans un logement partagé induit une augmentation de la probabilité d'infestation de 0,09 par rapport à la catégorie de référence. Le **statut d'occupation du logement** a

⁴⁰ Le lecteur souhaitant appuyer de façon privilégiée sur les OR pourra interpréter les résultats de la façon suivante pour la variable « nombre de mineurs au sein du ménage » (et de façon similaire pour les autres variables explicatives du modèles) : le fait de compter un individu mineur au sein du ménage – relativement à l'absence d'individus mineurs au sein du foyer – multiplie par 2,055 le risque d'infestation. Le lecteur notera bien la différence de seuil de significativité « maximum » de référence entre les OR – estimés selon un seuil de significativité « maximum » de 5 % – et les effets marginaux – estimés selon un seuil de significativité « maximum » de 10 % : ainsi, les OR obtenus pour les variables dont les effets sont significatifs au seuil de 10 % ne sont pas interprétables.

également une influence significative sur la probabilité d'infestation. On observe que le fait d'être locataire de son logement – en parc social et hors parc social – induit respectivement une augmentation de la probabilité d'infestation de 0,05 et 0,03 comparativement au fait d'être propriétaire de son logement. De plus, les individus/ménages résidant en logement étudiant voient leur probabilité d'être victimes d'une infestation augmenter de 0,1. On observe également qu'une augmentation de la **surface disponible** d'un mètre carré **par personne** induit une augmentation de la probabilité d'infestation de 0,002. Concernant la **région de résidence du ménage**, on peut observer que trois régions françaises sont associées à un sur-risque d'infestation par rapport à la région de référence (région Occitanie) : le fait de résider en Île de France, en Nouvelle-Aquitaine et en Provence-Alpes-Côte-D'azur induit une augmentation de la probabilité d'infestation de 0,08, 0,07 et 0,07 respectivement.

Enfin, on observe un effet significatif d'un **antécédent d'infestation antérieur à 2017** sur la probabilité d'avoir été infesté par des punaises de lit à domicile au cours des cinq dernières années : les ménages ayant été victimes d'une infestation avant 2017 présentent une probabilité d'infestation supérieure de 0,18 par rapport aux individus sans antécédents d'infestation.

Par ailleurs, et comme évoqué à la section 4.2.1.1.3, l'existence d'un effet relatif au seuil de pauvreté ainsi qu'à la sur-occupation des logements a été étudiée. Cependant, ces variables n'ont pas démontré d'effet significatif sur la probabilité d'infestation.

4.2.2 Discussion

Les résultats de la revue systématique de la littérature menée par le GT (voir section 2.1.2) fournissent une base de discussion pour les résultats générés dans le cadre de cette étude. En effet, les références retenues sont fondées sur des cas d'études récents mis en œuvre auprès de populations présentant des conditions de vie comparables à la population française (voir section 4.1.1 pour une description précise du corpus analysé). Cependant, et comme évoqué précédemment au regard du faible nombre et de l'hétérogénéité⁴¹ des publications disponibles dans la littérature portant sur l'association entre les caractéristiques socio-économiques des ménages et l'émergence d'infestations par les punaises de lit, le GT n'a de façon générale pas pu appuyer sa discussion sur un niveau de consensus scientifique suffisant.

Globalement, les résultats obtenus concernant l'effet des caractéristiques socio-démographiques convergent avec ceux rapportés dans la littérature existante. Concernant l'effet de l'âge du répondant, on démontre un sur-risque de déclarer une infestation pour les individus âgés de moins de 24 ans, de 35 à 34 ans et de 34 à 49 ans par rapport aux plus de 65 ans, ce sur-risque décroissant avec l'âge. Ce résultat est similaire à ceux dégagés par Gounder et al. (2014) et Ralph, Jones, et Thorpe (2013). Néanmoins, l'hétérogénéité des catégories de référence considérées invite à conclure avec précaution sur cette convergence. Fung et al. (2021) ne démontrent, quant à eux, pas de sur-risque pour les classes d'âge les plus jeunes, mais uniquement pour les 45-64 ans. Comme évoqué précédemment, Ralph, Jones, et Thorpe (2013) suggèrent que le jeune âge (mineurs et jeunes adultes) est associé à la mise en œuvre de comportements spécifiques en termes de sociabilité mais aussi à un usage plus important de lieux potentiellement infestés (e.g., transports, écoles, bibliothèque,

⁴¹ Notamment en termes d'échelle d'observation, d'indicateurs d'infestation, de type de population et de méthode d'analyse.

etc.) ainsi qu'à la mise en œuvre de comportements à risque (e.g., recours à la seconde main⁴², fréquence des voyages). De façon similaire, Fung et al. (2021) associent les âges actifs à la fréquentation d'un nombre de lieux plus important en comparaison avec les plus de 65 ans.

Concernant l'effet du nombre de mineurs au sein du foyer, l'analyse menée par le GT montre que celui-ci induit une augmentation de la probabilité de déclarer une infestation, cet effet étant croissant avec le nombre de mineurs (jusqu'à trois mineurs). Ce résultat converge avec celui de Gounder et al. (2014), qui démontrent l'existence d'une corrélation positive entre le nombre d'enfants au sein d'un ménage et la prévalence d'infestations par les punaises de lit. Au sein du corpus analysé, seuls ces auteurs mettent en évidence un effet pour cette variable dont l'effet peut s'interpréter de façon similaire à l'effet d'un jeune âge du répondant. On peut également s'interroger sur l'effet de la fréquentation des lieux liés à la « petite enfance » par les jeunes enfants dans l'émergence d'une infestation (e.g., crèche, école maternelle, les enfants étant amenés à y partager des couchages).

Les résultats dégagés dans le cadre de cette analyse concernant l'effet des caractéristiques socio-économiques convergent dans une moindre mesure avec les effets mis en évidence dans la littérature existante.

Concernant l'effet du revenu annuel net du ménage, l'analyse conduite par le GT montre que les faibles niveaux de revenus sont associés à une probabilité de déclarer une infestation plus faible par comparaison avec les hauts revenus (on considère comme catégorie de référence pour ces derniers les revenus annuels de plus de 60 000 euros). Ce résultat est contraire aux effets mis en évidence dans les publications existantes : Fung et al. (2021) ainsi que Sutherland, Greenlee, et Schneider (2020) montrent qu'un revenu faible à l'échelle d'un ménage induit une augmentation de la probabilité d'infestation par les punaises de lit ; par ailleurs, Ralph, Jones, et Thorpe (2013) et Gounder et al. (2014) mettent en évidence un effet « pauvreté » correspondant à une probabilité d'infestation plus élevée pour les ménages présentant un niveau de revenu inférieur à un seuil de pauvreté défini par les auteurs. Du fait du problème de mesure associé à cette variable⁴³ et du faible niveau de robustesse associé à ce résultat (voir Annexe 7), d'autres variables « proxy » du revenu ont été intégrées au modèle estimé dans le cadre de la présente analyse, en remplacement de cette dernière : **la variable CSP ainsi que le niveau de diplôme ont en particulier été considérés. Ces deux variables n'ont aucun effet significatif sur la probabilité d'infestation.** Par ailleurs, la variable « niveau de diplôme » souffre du même problème de mesure que la variable « revenu annuel net du ménage ».

Le résultat dégagé dans le cadre de la présente expertise concernant l'effet du statut professionnel est en partie conforme avec ceux dégagés dans la littérature existante : on démontre que les individus en incapacité de travail sont davantage susceptibles de déclarer une infestation, en comparaison des individus occupant un emploi salarié à plein temps. Ce résultat est donc relativement convergent avec celui dégagé par Gounder et al. (2014),

⁴² Parmi les organismes interrogés dans le cadre de l'enquête USH menée auprès des bailleurs sociaux, 68% ont identifié la récupération de meubles d'occasion comme étant un facteur de risque (cf. Annexe 4).

⁴³ Comme évoqué à la section 4.2.1, le revenu annuel net du ménage n'est mesuré qu'au jour de l'enquête pour les ménages infestés ET non-infestés. Aussi pour certains ménages infestés il existe jusqu'à cinq ans de décalage entre le jour de l'enquête et la période d'infestation et donc autant de décalage pour le revenu.

montrant que les foyers comptant un ou plusieurs membres sans emploi étaient davantage susceptibles de souffrir d'une infestation.

Par ailleurs, les résultats obtenus concernant le type de logement convergent relativement avec ceux mis en évidence dans la littérature : on montre que le fait d'habiter dans un appartement ou une chambre dans un logement partagé est associé à un sur-risque de déclarer une infestation, en comparaison du fait d'habiter dans une maison. Fung et al. (2021) et Sheelee et al. (2019) qui montrent respectivement que le fait de résider dans un logement partagé ou dans un foyer collectif est associé à un sur-risque d'infestation. Par ailleurs, Ralph, Jones, et Thorpe (2013) mettent en évidence un effet protecteur lié au type de logement : plus précisément, le fait de vivre dans un immeuble d'un à deux logements induit une diminution de la probabilité d'infestation comparativement aux immeubles de plus de cinquante logements. Les effets mis en évidence pour cette variable convergent avec les éléments d'information qualitatifs recueillis par le GT dans le cadre des auditions réalisées avec le représentant de l'association « Union et Solidarité », fédérant les bailleurs sociaux du Grand Nancy mais aussi les représentants de syndicats hôteliers : ces derniers ont en effet une forte suspicion concernant la dispersion active des punaises de lit par le biais des réseaux au sein des logements collectifs (notamment d'eau chaude/chauffage collectif). Ainsi, résider en appartement serait associé à l'existence de multiples points de contact entre logements, facilitant une dispersion active des insectes. Les résultats de l'enquête menée auprès des bailleurs sociaux fournissent également des éléments en faveur de l'effet identifié : en effet, le type de logement (dans un immeuble ou non) et sa localisation (étage notamment) ont été identifiés comme facteurs de risque par 17 des organismes HLM interrogés, soit 18 % des répondants (Enquête USH 2023, cf. Annexe 4).

La présente analyse met en évidence un effet relatif au statut d'occupation du logement. On montre en particulier que le fait d'être locataire hors parc social, au sein du parc social et au sein du parc de logements étudiants est associé à un sur-risque de déclarer une infestation par des punaises de lit (par rapport au fait d'être propriétaire). Cette variable n'étant pas analysée par la littérature existante, il n'est pas possible de juger de la convergence des résultats dégagés par les travaux du GT sur cette base. Néanmoins, on peut évoquer les éléments de discussion développés par les auteurs du corpus analysé. Rukke, Roligheten, et Aak (2022) rappellent que les logements sociaux abritent 10 % des infestations à Oslo en Norvège, alors qu'ils ne représentent que 0,5 % du nombre de logements. Gounder et al. (2014) rapportent en revanche une prévalence des infestations plus faible dans le parc social de New York en comparant les données de suivi du bailleur et un résultat d'enquête en population générale : les auteurs avancent un plus grand recours à la lutte au sein du parc social, celle-ci étant entièrement prise en charge par le bailleur. Par ailleurs, les résultats dégagés dans le cadre de la présente analyse convergent là aussi avec les éléments d'information qualitatifs recueillis par le GT dans le cadre des auditions réalisées auprès des bailleurs sociaux et du CNOUS : la prolifération de la punaise de lit représente une problématique réelle pour ces acteurs. Cependant, aucune audition ni collecte de données n'a pu être réalisée au sein du parc privé (propriétaires bailleurs et propriétaires occupants) dans le temps imparti au traitement de cette saisine ; aussi il n'est pas possible de discuter les résultats concernant le parc « hors parc social » sur la base de tels éléments qualitatifs.

Le résultat obtenu dans le cadre de la présente analyse concernant l'effet de la surface disponible par nombre d'occupants au sein du logement ne converge pas avec les données de la littérature. On montre qu'une augmentation de la surface disponible par personne au sein du logement est associée à une augmentation de la probabilité d'infestation. Or, Sutherland,

Greenlee, et Schneider (2020) ainsi que Fung et al. (2021) mettent plutôt en évidence un sur-risque d'infestation lié à la sur-occupation du logement. Seuls Gounder et al. (2014) mettent en évidence une diminution de la prévalence des infestations dans une situation de sur-occupation du logement. Ils montrent aussi une corrélation positive entre le nombre de chambres au sein d'un logement et la probabilité d'infestation (comparativement avec un logement dépourvu de chambre). Ces derniers expliquent le sur-risque d'infestation par la multiplication de points de contact ou d'entrée pour les punaises pour des logements plus grands.

Enfin, on met en évidence un effet de la région de résidence sur la probabilité de déclarer une infestation par des punaises de lit. Ainsi, le fait de résider en région Île-de-France (IDF), Provence-Alpes-Côte-d'Azur (PACA) ou en Nouvelle-Aquitaine induit une augmentation de la probabilité de déclarer une infestation, en comparaison du fait de résider en région Occitanie. Le sur-risque mis en évidence pour la région IDF converge avec les résultats de l'enquête Ipsos (2021) : en effet, cette enquête réalisée sur un échantillon représentatif de la population générale a montré que 29 % des infestations sont déclarées en IDF, alors que cette région représente 19 % de la population nationale adulte. Les résultats de cette enquête ne permettent pas de discuter les conclusions dégagées par le GT concernant les régions PACA et Nouvelle-Aquitaine, ces dernières étant présentées de manière agrégée en quatre « grandes régions » (Nord-Ouest, Nord-Est, Sud-Ouest, Sud-Est) et non par région administrative. Cependant, le sur-risque mis en évidence pour la région PACA est conforme aux connaissances de terrain des experts du GT. On peut par ailleurs s'appuyer sur le rapport parlementaire Racon-Bouzon et al. (2020), qui relaie les propos du médecin conseil de la Direction Départementale de la Cohésion sociale (DDCS) des Bouches-du-Rhône. Celui-ci qualifie la problématique des punaises de lit comme un « véritable » problème de santé publique au sein de son département.

Ainsi, l'analyse empirique des données recueillies par le biais de l'enquête en population générale menée par le GT suggère l'existence de facteurs de risque d'infestation par des punaises de lit, principalement en lien avec les caractéristiques du logement, le statut d'occupation de ce dernier, mais aussi avec la composition du ménage et l'âge du répondant. **Les résultats suggèrent également l'existence de grands bassins d'infestation en France métropolitaine (Île de France, Nouvelle Aquitaine et PACA notamment).** L'ensemble de ces résultats montrent un certain niveau de convergence avec les résultats dégagés par la littérature existante ainsi que les données qualitatives « de terrain » recueillies par le GT au cours du traitement de cette saisine. Les résultats obtenus concernant d'éventuels facteurs de risque relatifs au statut socio-économique des ménages sont moins nets et présentent un niveau de convergence moindre avec les données de la littérature.

4.2.3 Incertitudes

Cette démarche d'enquête a permis, en l'absence de données pertinentes disponibles pour le périmètre français, d'apporter des éléments de réponse aux questions formulées dans le cadre de la saisine relatives aux déterminants socio-économiques, démographiques, géographiques et culturels des infestations par les punaises de lit. Au regard du temps imparti à la réalisation de la présente expertise, le GT a conduit une enquête déclarative. **Plusieurs sources d'incertitudes sont par conséquent associés aux données recueillies.** Il est nécessaire d'abord de rappeler que cette analyse s'appuie sur des données d'enquête déclarative présentant un degré de fiabilité assez faible, en particulier concernant la réalité de l'infestation

par des punaises de lit. Pour rappel, 7 % des individus ayant déclaré une infestation déclarent par ailleurs ne pas être certains qu'il s'agisse bien de punaises de lit, et 44 % des infestations considérées sont fondées sur une identification de l'insecte par les ménages eux-mêmes et non pas par un professionnel. Certaines situations d'infestations considérées dans notre échantillon peuvent donc ne pas relever des punaises de lit. Par contraste, souffrir d'une infestation peut être vécu comme stigmatisant⁴⁴, poussant certains individus de l'échantillon à déclarer l'absence d'infestation de façon erronée. Aussi, l'analyse des déterminants des infestations par des punaises de lit en France pourrait être prolongée par le biais d'une analyse similaire à celle conduite par Sutherland, Greenlee, et Schneider (2020) ou Gounder et al. (2014), s'appuyant d'une part, sur des données d'intervention par des désinsectiseurs en lien avec la présence avérée de punaises de lit (intervention sollicitée par le ménage lui-même ou par un intermédiaire) et d'autre part, sur la caractérisation du foyer et du logement ou *a minima* de la population à l'échelle de l'Ilots Regroupés pour l'Information Statistique (IRIS).

Tableau 7 Résumé des facteurs de risque mis en évidence par l'enquête réalisée en population générale

Variables étudiées	Facteurs de risque	
	Facteurs mis en évidence	Facteurs non mis en évidence
Caractéristiques socio-démographiques	<ul style="list-style-type: none"> ○ Jeune âge (mineurs et jeunes adultes) /âge actif ○ Nombre de mineurs au sein du foyer 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Être âgé de plus de 65 ans
Caractéristiques socio-économiques	<ul style="list-style-type: none"> ○ Incapacité de travail ○ Logement partagé ○ Vivre dans un appartement (plutôt qu'une maison) ○ Être locataire 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Revenu ○ Taux d'occupation du logement
Autres caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> ○ Région de résidence 	

4.3 Conclusion

L'étude de l'association entre les caractéristiques socio-démographiques et socio-économiques des ménages, comme celles des logements, et l'émergence d'infestations par les punaises de lit, réalisée par deux démarches complémentaires (revue de littérature et enquête empirique en population générale), a fait ressortir qu'il existerait bien un consensus sur le fait que le risque d'être impacté par des punaises de lit augmente quand les adultes du foyer ont moins de 65 ans (avec un risque de plus en plus élevé à mesure que la classe d'âge diminue), s'ils vivent avec des enfants, et s'ils habitent en appartement, plus particulièrement dans un grand immeuble, avec un risque encore plus grand si au moins un des adultes présent dans le foyer n'a pas d'activité professionnelle. **Pour autant, les caractéristiques liées au revenu (en l'occurrence la CSP ou le niveau de diplôme) ne convergent pas et cela questionne le GT au final, mettant surtout en évidence que l'étude a été réalisée en**

⁴⁴ Les individus victimes d'une infestation, interrogés en phase 2 de l'enquête, ont signalé n'avoir informé personne de leur situation dans 35 % des cas, alors que 59 % en ont parlé à leur cercle restreint. Seulement 13 % en ont parlé au-delà de leur cercle restreint.

population générale et non pas sur des populations vivant en logements sociaux, comme dans nombre d'études repérées dans la revue de littérature. Ainsi, il est apparu dans l'enquête réalisée qu'un faible niveau de revenu ne serait donc pas lié à un risque supérieur d'infestation. Toutefois, il conviendrait ici de bien distinguer l'apparition de punaises de lit dans un foyer et la « persistance » de l'infestation dans le temps. En effet, en l'absence de toute prise en charge, totale ou même partielle, de la lutte par des bailleurs sociaux, le coût de cette dernière peut expliquer qu'à long terme l'infestation dure plus longtemps dans des foyers plus pauvres habitant dans des appartements gérés par ces derniers (et qu'elle se répande aux alentours) que dans des foyers plus favorisés habitant d'autres types d'appartements, à condition, bien sûr, que l'infestation ait été bien repérée et avérée. La question de la dynamique de l'infestation se doit donc d'être posée au regard d'une part, des possibilités financières laissées aux ménages de faire appel à des professionnels reconnus de la lutte, et d'autre part, des campagnes de prévention qui pourraient sensibiliser à la fois les individus mais également les bailleurs sociaux pour que l'infestation d'un logement soit avérée et surtout combattue au plus vite, et le plus efficacement possible. C'est à ce stade que le rôle d'un observatoire trouverait toute sa pertinence, du moment où il a bien en sa possession les outils (numériques en particulier, tels que des sites et applications permettant les déclarations individuelles, des Systèmes d'Information Géographique, etc.) et surtout les moyens d'effectuer un recensement et un suivi précis des cas avérés. En effet, un suivi dans le temps des foyers touchés serait très utile pour contenir, voire inverser, l'infestation sur le territoire français, puisque l'anticipation de celle-ci à travers la mise en évidence de caractéristiques socio-démographiques et socio-économiques des foyers, comme celles des logements, ne permet pas de faire émerger de manière probante celles qui permettraient d'enrayer efficacement le phénomène constaté et à l'origine de la saisine.

5 Les principaux impacts des infestations par les punaises de lit sur la santé humaine

5.1 Lésions cutanées induites par les piqûres

5.1.1 Mécanismes des lésions

Les punaises de lit sont des hématophages dits solénophages, c'est-à-dire, qu'elles vont introduire leur stylet à l'intérieur des vaisseaux sanguins et pomper le sang directement des gros capillaires et des veinules (Lehane 2005). Pour prendre son repas sanguin, la punaise de lit injecte de la salive dans la peau de son hôte par son fin stylet. Sa salive contient différentes substances anti-hémostatiques, qui facilitent la prise de sang et sont responsables des manifestations cliniques.

Différentes molécules intervenant dans la coagulation et ayant une action vasodilatatrice ont été caractérisées (Francischetti et al. 2010) : nitrophorine (vasodilatatrice), apyrase (enzyme intervenant dans l'inhibition de l'activité plaquettaire), inhibiteur du facteur X de la coagulation, protéines et peptides à activité anti-coagulante, mais aussi des protéines responsables de la réaction inflammatoire et de la réponse du système immunitaire. La présence de substances anesthésiantes reste incertaine (voir la revue de Doggett et al. (2012)). Des immunoglobulines sériques E et G ont été mises en évidence après des piqûres répétées de *C. lectularius* (Goddard et deshazo 2009; Price et al. 2012; Sheele et al. 2020). En conséquence, la salive facilite l'ingestion rapide de sang en induisant en même temps une réaction inflammatoire et une réaction d'hypersensibilité en cas de piqûres répétées.

5.1.2 Les lésions cutanées

Les lésions cutanées sont les manifestations les plus fréquentes, apparaissant pour 30 % à 86 % des personnes exposées dans des études réalisées dans des conditions de vie réelles ou dans des conditions expérimentales (Gbakima et al. 2002; Goddard et deshazo 2009).

Dans l'étude de Reinhardt et al. (2009), 54,2 % des 24 volontaires exposés à des piqûres de *C. lectularius* n'ont pas présenté de lésions après les premières piqûres et jusqu'à 20 semaines après mais, à la réexposition, tous sauf un ont développé des lésions. Au total, entre 4 % et 25 % des volontaires de cette étude n'ont présenté aucune lésion aux sites de piqûre (Reinhardt et al. 2009).

Aux États-Unis, Potter et al. (2010) ont observé, à partir d'un échantillon de 474 volontaires ayant signalé une infestation par des punaises de lit, que seulement 70 % des participants ont déclaré avoir des réactions cutanées, sans lien avec le degré estimé d'infestation.

Les lésions cutanées n'ont aucune spécificité et prennent l'aspect des lésions induites par tout arthropode (Akhoundi et al. 2020; Parola et Izri 2020). Il s'agit de macules ou de papules érythémateuses prurigineuses d'un diamètre variant de quelques millimètres à moins de 2 cm, avec souvent un point central pouvant être hémorragique. Plus rarement, ce sont des petites vésicules, des papules œdémateuses plus importantes, des papules purpuriques ou des bulles. Le grattage secondaire au prurit peut entraîner des excoriations, l'apparition de croûtes et de nodules.

Ces lésions touchent surtout les zones non couvertes comme les membres et le visage. Elles sont souvent groupées ou linéaires comme pour les piqûres d'autres arthropodes (tels que les puces). Leur délai d'apparition dépend de l'existence d'expositions antérieures aux punaises ou à un autre arthropode : la papule et le prurit débutent le plus souvent 24 à 72 h après la piqûre (Goddard et deshazo 2009; Reinhardt et al. 2009; Doggett et al. 2012; Akhouni et al. 2020; Parola et Izri 2020). Des apparitions retardées sont décrites jusqu'à 10 jours après la piqûre (Goddard et deshazo 2009; Reinhardt et al. 2009; Doggett et al. 2012; Akhouni et al. 2020; Parola et Izri 2020). Ce délai diminue avec des expositions répétées, évoquant une sensibilisation avec réaction immunitaire, et la possibilité d'une apparition immédiate évoquant une réaction d'hypersensibilité médiée par les immunoglobulines E (IgE). La durée des lésions et du prurit est de moins d'une semaine, en dehors des conséquences du grattage (Goddard et deshazo 2009; Reinhardt et al. 2009; Doggett et al. 2012; Akhouni et al. 2020; Parola et Izri 2020).

Les données sur les manifestations cutanées issues de l'étude épidémiologique PULI sur les consultations liées aux punaises de lit en médecine générale en France (Blanchon et al. 2020) sont présentées dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Atteintes cutanées chez les cas présentant des signes en lien avec les punaises de lit ; d'après Blanchon et al. (2020)

	Nombre (pourcentage) des cas (n=191)
Présence de lésions cutanées, dont :	188 (98 %)
papules	155 (82 %)
lésions de grattage	126 (67 %)
macules	73 (39 %)
nodules	43 (23 %)
ulcération	19 (10 %)
surinfection	12 (6 %)
bulles	9 (5 %)

5.1.3 Les complications cutanées

Les complications cutanées sont secondaires au grattage qui prédispose à l'infection, avec des lésions de folliculites, ecthyma, impétigo, cellulite, lymphangite (Doggett et al. 2012; Parola et Izri 2020).

5.1.4 Les autres manifestations

La survenue de réactions allergiques avec urticaire généralisé, asthme, anaphylaxie, a également été rapportée dans des cas cliniques isolés repris dans les revues de la littérature (Goddard et deshazo 2009). D'autres manifestations comme la diarrhée, la fièvre, les malaises ont aussi été signalées (Doggett et al. 2012), soulevant la question d'une conséquence des traitements chimiques utilisés. Une anémie ferriprive est possible en cas d'infestation massive et chronique par les punaises de lit, surtout chez les enfants (Pritchard et Hwang 2009; Doggett et al. 2012; Izri et al. 2020; Sheele et al. 2021).

5.2 Pouvoir de transmission d'agents infectieux

Salazar et al. (2015) ont montré que *Trypanosoma cruzi*, responsable de la maladie de Chagas, présente une durée de survie élevée dans le tube digestif des punaises avec une transmission bidirectionnelle de *T. cruzi* entre *C. lectularius* et des souris, dans le cadre d'expérimentations animales. Il est important de signaler que ces résultats ont été obtenus en mode expérimental, mais les mêmes auteurs (Peterson et al. 2018) constatent que cette transmission n'a jamais été mise en évidence en milieu naturel.

Différentes revues de la littérature (Goddard et deshazo 2009; Delaunay et al. 2011; Zorilla-Vaca, Silva-Medina, et Escandón-Vargas 2015; Lai et al. 2016) ont analysé le risque de transmission par les punaises de lit de divers pathogènes à l'être humain (jusqu'à 45 pathogènes ont été évoqués dans la revue de Delaunay et al. (2011) voire 65 dans celle de Zorilla-Vaca, Silva-Medina, et Escandón-Vargas (2015)).

Il n'y a pas de cas avéré de transmission de ces pathogènes à l'être humain. En particulier pour le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) et de l'hépatite B, il n'y a pas de réplication virale ni de transmission.

Par conséquent, en l'état des connaissances, la punaise de lit n'est pas considérée comme vecteur d'agent pathogène.

5.3 Les conséquences émotionnelles et psychologiques

5.3.1 Troubles du sommeil

Le prurit induit par les piqûres de punaises de lit altère la qualité du sommeil, avec des insomnies majorées par la crainte de nouvelles piqûres (voir les revues de Doggett et al. (2012) et d'Ashcroft et al. (2015)). Il est également associé à des troubles du sommeil avec des impacts sur la santé et la vie socio-professionnelle.

Une enquête par questionnaire en ligne réalisée par Fung et al. (2021) pour étudier les effets des infestations par les punaises de lit sur la santé des personnes impactées à Hong Kong a montré que parmi les 422 participants à l'enquête qui avaient déclaré une infestation par les punaises de lit dans l'année précédente à l'enquête, 53,7 % avaient rapporté un impact de l'exposition aux punaises sur la qualité de leur sommeil. Dans l'étude de Potter et al. (2010), les troubles du sommeil touchent 29 % des personnes interrogées exposées aux punaises de lit.

Les résultats de l'étude PULI montrent que 73 % des cas ayant consulté un médecin déclarent souffrir d'insomnies, apparues ou aggravées en raison de l'infestation (Blanchon et al. 2020).

5.3.2 Les effets sur la santé mentale

L'infestation par les punaises de lit peut entraîner différentes conséquences psychologiques et psychiatriques.

Ashcroft et al. (2015) ont réalisé une revue de 51 publications qui synthétise les diverses conséquences des infestations aux punaises, incluant détresse psychologique, cauchemars et réminiscences. Les victimes d'infestations persistantes ou récidivantes sont plus susceptibles de développer des troubles du sommeil, un changement d'humeur, de la

nervosité, des sentiments de panique, de l'agitation, de l'hypervigilance et des comportements d'évitement, des manifestations délirantes, et des symptômes équivalents à un stress post-traumatique avec des conséquences socio-professionnelles (voir Figure 8).

L'étude de Susser et al. (2012) au Canada montre que l'infestation par des punaises de lit est associée à des symptômes d'anxiété et des troubles du sommeil avec un OR (95 % IC) respectivement de 4,8 (1,5 à 14,7) et 5,0 (1,3 à 18,8) et plus faible, non significatif, pour les symptômes dépressifs (OR (95 % IC) = 2,5 (0,8 à 7,3)). Pour 145 des 474 participants à l'étude de Potter et al. (2010) déclarant présenter d'autres symptômes en plus des signes cutanés, l'anxiété a été signalée par 20 % et une détresse émotionnelle par 22 %.

Les impacts en santé mentale peuvent engendrer une dégradation de l'état de santé générale, et augmenter le risque de suicide et d'hospitalisation psychiatrique avec, en raison de l'atteinte mentale, une moindre capacité à faire face à la prise en charge de l'infestation par les punaises de lit (Doggett et al. 2012; Burrows, Perron, et Susser 2013).

En plus de ces réactions, il existe une crainte de stigmatisation sociale associée aux punaises de lit responsable d'une partie de l'anxiété liée à la honte d'avoir des punaises de lit et la visibilité des lésions sur les parties découvertes (Goddard et deShazo 2012; Ashcroft et al. 2015). La crainte d'une ré-infestation peut conduire à un isolement avec éviction des lieux de contamination possibles (Goddard et deShazo 2012; Rieder et al. 2012).

La littérature publiée souligne l'absence de corrélation entre une hygiène précaire du logement et/ou de l'occupant et l'infestation par les punaises de lit (Doggett et al. 2012).

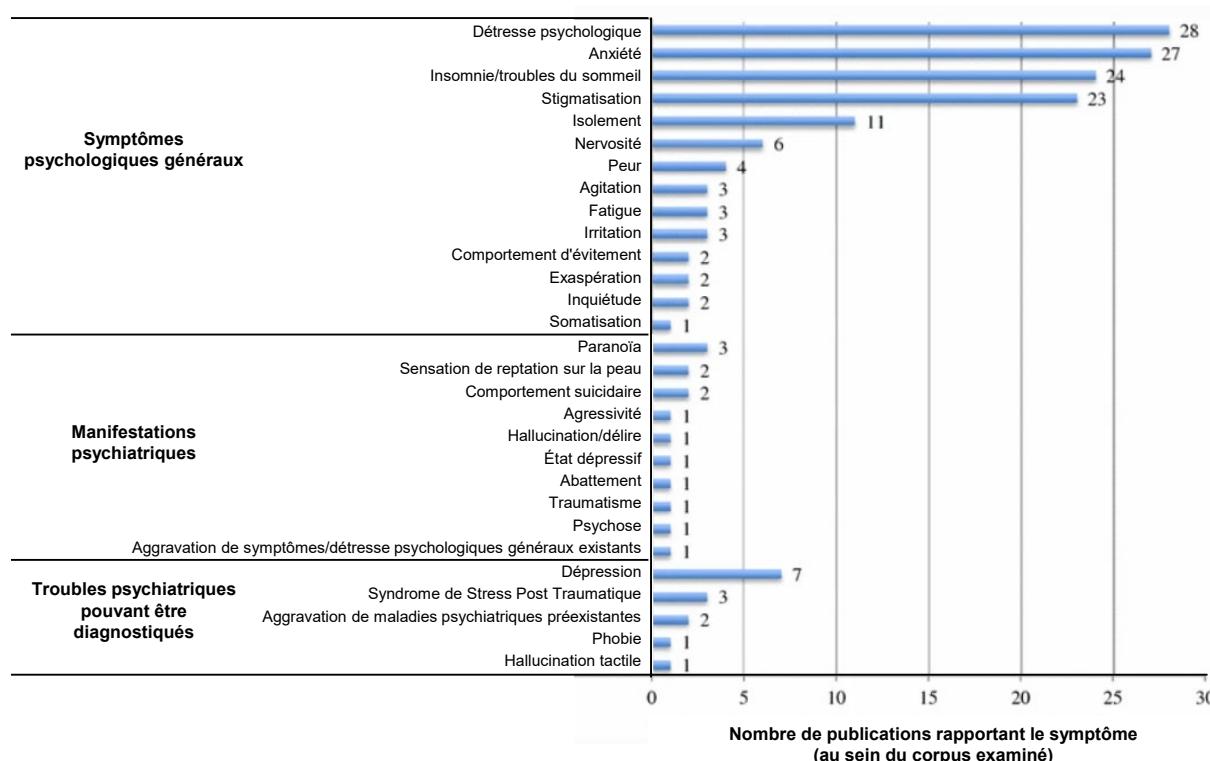


Figure 8 : Les effets en santé mentale induits par les infestations par les punaises de lit ;
modifiée d'après Ashcroft et al., (2015)

5.4 Prise en charge des effets de santé

Il n'y a pas de traitement spécifique contre les impacts sur la santé humaine des punaises de lit. Les atteintes cutanées ont tendance à disparaître spontanément en une à deux semaines si l'infestation de punaises de lit est éradiquée, même sans traitement (Doggett et al. 2012).

Les antihistaminiques peuvent être prescrits pour soulager les démangeaisons, ainsi que des stéroïdes topiques pour contrôler l'inflammation (Goddard et deShazo 2012). Dans le cas de l'étude PULI (Blanchon et al. 2020), les antihistaminiques ont été prescrits dans 84 % des cas. Des antiseptiques et corticoïdes locaux, ont été prescrits respectivement dans 40 % (n=68) et 38 % (n=65) des cas. Un arrêt de travail a été prescrit dans 2 % des cas (n=4) (voir Tableau 9).

En cas de réactions plus importantes, des corticostéroïdes et/ou des antihistaminiques peuvent être nécessaires. Une évaluation et un suivi psychologique peuvent être également nécessaires dans le cadre d'une prise en charge globale.

Tableau 9 : Prise en charge médicamenteuse à l'issue de la consultation chez les personnes impactées ; d'après Blanchon et al. (2020)

	Nombre (pourcentage) des cas n=191
Prise en charge médicamenteuse à l'issue de la consultation, dont :	172 (91 %)
antihistaminiques	145 (84 %)
antiseptiques	68 (40 %)
corticothérapie locale	65 (38 %)
antibiothérapie locale	4 (2 %)
prescription d'un arrêt de travail	4 (2 %)
antibiothérapie générale	3 (2 %)
anxiolytiques	3 (2 %)
hypnotiques	1 (1 %)
antidépresseurs	0 (0 %)

6 Méthodes d'identification, de détection et d'évaluation des niveaux et/ou de la répartition des infestations par les punaises de lit

Une plainte pour nuisance due à la présence d'un insecte et/ou des piqûres nocturnes sont en général à l'origine d'une demande de diagnostic de la présence de punaises de lit. Cependant, certaines personnes n'expriment pas de sensibilité cutanée aux piqûres de punaises.

L'identification formelle de l'insecte et la détermination de sa répartition dans un logement ou dans un bâtiment sont des étapes cruciales afin d'adapter le traitement à réaliser.

6.1 Identification de l'espèce « punaise de lit »

Il est parfois difficile pour un œil non expert d'identifier cet ectoparasite devant pléthore d'insectes de tailles et de couleurs différentes (Figure 9). Seulement 10 % des anglais et 12,5 % des allemands seraient en mesure de l'identifier⁴⁵ (Seidel et Reinhardt 2013).

L'identification avec certitude de l'espèce punaise de lit doit donc être réalisée par un spécialiste expérimenté : entomologiste, désinsectiseur, détecteur canin, etc.

À titre exceptionnel ou de recherche, l'utilisation d'outils moléculaires et/ou de méthodes associées à la spectrométrie de masse (MALDI-TOF⁴⁶) (Benkacimi et al. 2020) permet une identification formelle de l'espèce à partir d'un insecte ou de parties d'insectes.



Figure 9 : De gauche à droite, 1) punaises de lit à différents stades de développement, 2) exuvies, (Choe D.-H, University of California, UCR Entomology) et 3) déjections (Lewis et al. 2013)

6.2 Détection des punaises de lit

6.2.1 Détection par inspection visuelle active

La détection de la présence des punaises de lit est réalisée en plusieurs étapes qui conduisent au diagnostic (Cooper et Wang 2018) :

⁴⁵ Dans le cadre de l'enquête réalisée en population française, 44 % des répondants ayant été victimes d'une infestation par les punaises de lit ont déclaré pouvoir identifier l'insecte par eux-mêmes.

⁴⁶ Matrix Assisted Laser Desorption Ionization - Time of Flight

- Interrogatoire des occupants et/ou des victimes de piqûres souvent nocturnes dans des pièces de sommeil/repos ;

Les piqûres ont lieu généralement la nuit et sont préférentiellement localisées sur les parties découvertes du corps. Elles peuvent être alignées et sont peu caractéristiques et très personnes dépendantes. L'apparition des piqûres peut être reliée à un évènement (voyage, fréquentation de moyens transports, hôtels ou achat/récupération de produits de seconde main, etc.).

- Inspection visuelle des lieux les plus fréquentés

L'inspection visuelle demande à être réalisée par une personne d'expérience principalement dans les pièces de sommeil et de repos : lit, matelas, sommier, canapé, fauteuils, mobiliers, plinthes, prises électriques, etc. Des preuves indirectes, comme la présence de déjections, d'insectes morts, d'exuvies (Figure 9) permettent de suspecter plus ou moins fortement une infestation en cours ou ancienne. Des preuves directes, c'est-à-dire la présence de spécimens vivants aux stades larvaires et/ou adultes, permettent d'affirmer qu'une infestation est en cours.

6.2.2 Détection par pièges passifs et actifs

Les outils d'aide à la détection des punaises de lit sont complémentaires d'une inspection visuelle. L'utilisation de ces méthodes de détection par pièges/intercepteurs peut augmenter la sensibilité de la détection (Wang et al. 2011; 2012; Romero et al. 2017; Crawley et Borden 2021).

6.2.2.1 Pièges passifs sans glu

Des pièges passifs, qui permettent d'intercepter les punaises, peuvent être placés au niveau des pieds de lit (Figure 10). Ces pièges, dont les rebords sont glissants, ne permettent pas aux punaises de s'échapper. Elles se retrouvent ainsi coincées dans une sorte de rigole circulaire. Certaines études portant sur l'efficacité de ces pièges couplent leur utilisation à l'usage de talc (augmentant leur glissance) ou à de la terre de diatomée (aux propriétés abrasives) qui blesse l'insecte et conduit à sa déshydratation. Wang et al. (2016) ont étudié la sensibilité du déploiement de tels pièges sur un panel de 291 logements : ils ont mis en évidence que ces dispositifs permettaient d'établir la présence des punaises de lit dans 89 % des cas contre 72 % pour une inspection visuelle seule.

6.2.2.2 Pièges passifs à glu

Les pièges passifs à glu, généralement en carton, simulent des cachettes pour les punaises de lit. Elles s'y glissent pour s'y réfugier et sont piégées par une glu ou un adhésif (Figure 10). Ces pièges doivent être placés sur des lieux de passage stratégiques empruntés par les punaises de lit, entre l'hôte potentiel et le lieu de refuge. D'après les retours terrains (communication personnelle - CSTB, CS3D et Institut National d'Étude et de Lutte contre la Punaise de lit (INELP)), leur efficacité n'est pas prouvée.

6.2.2.3 Pièges à glu attractifs

Les pièges à glu attractifs simulent généralement aussi des cachettes pour les punaises de lit et dégagent de plus un ou plusieurs attractants physico-chimiques : CO₂ et/ou chaleur et

parfois des substances sémio-chimiques de type kairomones (i.e., odeurs associées à l'hôte) afin de simuler la présence humaine (Figure 10). Les punaises attirées s'y glissent et sont piégées par la glu. Leur efficacité semble meilleure que les pièges dépourvus d'attractants (Crawley 2016; Gries et al. 2015). Cependant, ces pièges perdent en performance si une personne est présente dans la pièce. En effet, tout occupant dégage des odeurs, de la chaleur et du CO₂ à des quantités bien plus attractives.

D'autres pièges contenant des leurres attractifs que sont les phéromones d'agrégation ont également été développés (Siljander et al. 2008). L'efficacité de ces pièges reste dépendante d'une mise en place pertinente. Ceci demande des connaissances sur le comportement de l'insecte (éthologie).

Le coût de ces pièges peut être élevé, particulièrement lorsqu'il s'agit de pièges actifs (Crawley 2016).

Les insectes englués dans ces pièges demandent une identification de certitude pour les deux punaises potentiellement présentes en France, *C. lectularius* et *C. hemipterus*, car d'autres insectes présents dans nos lieux de vie peuvent être piégés par ces outils.

L'article de revue de Crawley et Borden (2021) sur la détection et la surveillance des punaises de lit référence l'ensemble des pièges passifs et actifs disponibles à ce jour sur le marché international, leurs coûts et présente brièvement les résultats des évaluations scientifiques (s'ils en ont fait l'objet), ainsi qu'une analyse critique de ceux-ci quant à leur efficacité respective. Certains d'entre eux, et particulièrement les pièges passifs, n'ont pas fait l'objet d'une évaluation dans des publications scientifiques.

Pièges passifs	Pièges actifs
<p>ClimbUp® Insect Interceptor</p>  <p>Pièges passifs à glu</p>   	<p>BB ALERT® ACTIVE</p>  <p>Chaleur</p>   <p>Chaleur, CO₂ + phéromone</p>

Figure 10 : Exemples de pièges actifs et passifs

6.2.3 Détection canine

La punaise de lit a une odeur spécifique. En anglais, on parle de « *buggy odor* » (Marlatt 1916). L'être humain perçoit difficilement cette odeur à des taux faibles d'infestation. L'odeur décrite est douce, fruitée, aigre doux pour certains, ou bien âcre, acide et irritante pour d'autres.

Le chien dispose d'un système olfactif performant et peut être éduqué au repérage des punaises de lit à différents stades de leur développement, ce qui fait de lui une aide performante pour le repérage (Pfiester, Koehler, et Pereira 2008). En effet, il est en capacité de localiser (sensibilité) précisément dans un lieu : les œufs, les larves, les adultes vivants, et il peut apprendre à ne pas détecter (spécificité) les individus morts ainsi que les exuvies (Cooper, Wang, et Singh 2014).

La détection canine est particulièrement adaptée aux lieux possédant de grandes surfaces, comme les cinémas, les hôtels, les trains, etc. Elle est également de plus en plus utilisée pour les logements des particuliers. Malheureusement, la sensibilité et la spécificité sont totalement dépendantes de la relation entre le chien et son maître, du dressage, des entraînements réguliers que le chien reçoit ainsi que des temps de repos qui lui sont accordés entre chaque diagnostic (Cooper, Wang, et Singh 2014).

En France, pour structurer et évaluer la performance de la détection des punaises de lit par un maître et son chien, un Syndicat d'experts en détection canine de punaise de lit, le SEDCPL, reconnu par l'État français et ayant un label de qualité décerné par le « Bureau Véritas » évalue les entreprises qui adhèrent à ce syndicat.

6.2.4 Détection de l'activité des punaises

L'inspection visuelle ne permet pas toujours de détecter la présence des punaises de lit, particulièrement lorsque les infestations sont débutantes, et ce même par l'œil aiguisé d'un expert.

De nouveaux outils de détection sont proposés dans la littérature. Ils visent à détecter soit les odeurs liées à l'activité métabolique des punaises, soit les mouvements de l'insecte.

6.2.4.1 Détection de traceurs chimiques volatils associés aux punaises de lit

Les punaises de lit, comme nombre d'insectes et autres organismes, produisent des substances sémio-chimiques qui servent à la communication intra et inter-espèces (phéromones, synomones, allomones, kairomones). Au sein du genre *Cimex*, certaines de ces substances sont classées comme phéromones d'alarme, de défense, de répulsion et/ou d'agrégation. Elles influencent significativement le comportement des punaises de lit. Parmi ces substances, certaines sont volatiles et sont également nommées composés organiques volatils (COV). L'« écologie chimique volatile » associée à la punaise de lit est présentée sur la Figure 11.

Au total, une dizaine de publications décrivent l'empreinte chimique volatile de *C. lectularius* (Levinson et al. 1974; Siljander et al. 2008; Weeks et al. 2011; Eom, Risticevic, et Pawliszyn 2012; Kilpinen, Liu, et Adamsen 2012; Gries et al. 2015; Olson 2015; Choe et al. 2016; Olson et al. 2017; Cannon, Stejskal, et Perrault 2020) et des publications renseignent sur les émissions volatiles associées à *C. hemipterus* (Liedtke et al. 2011; Mendki et al. 2014). Un peu plus d'une trentaine de COV sont ainsi décrits, ils portent des fonctions chimiques variées : aldéhydes, alcènes, cétones, esters, cycliques et terpènes, fréquemment décrites dans le domaine du vivant. Seulement huit d'entre eux sont communs aux deux espèces (Acetaldehyde, (E)-2-Hexenal, Hexanal, 4-oxo-(E)-2- Hexenal, Benzaldehyde, (E)-2-Octenal, 4-oxo-(E)-2-Octenal, Dimethyl trisulfide). Certaines de ces molécules volatiles semblent d'intérêt pour tracer la présence des punaises de lit, comme l'ont suggéré ou envisagé certains

auteurs (Weeks et al. 2011; Eom, Risticevic, et Pawliszyn 2012; Vaidyanathan et Feldlaufer 2013; Cannon, Stejskal, et Perrault 2020).

Une méthode de détection des punaises de lit expérimentée par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) a permis la construction d'un indice calculé par modélisation à partir de données de concentrations de cibles COV spécifiques prélevées dans l'air d'une pièce de repos infestée. Cet indice binaire est performant puisque la sensibilité et la spécificité de celui-ci dépassent les 90 % (CSTB 2022). La mise en œuvre de cette méthode afin de consolider cet indice a débuté en 2022. Il devrait être, à terme, industrialisé et exploité par une filiale du groupe CSTB.

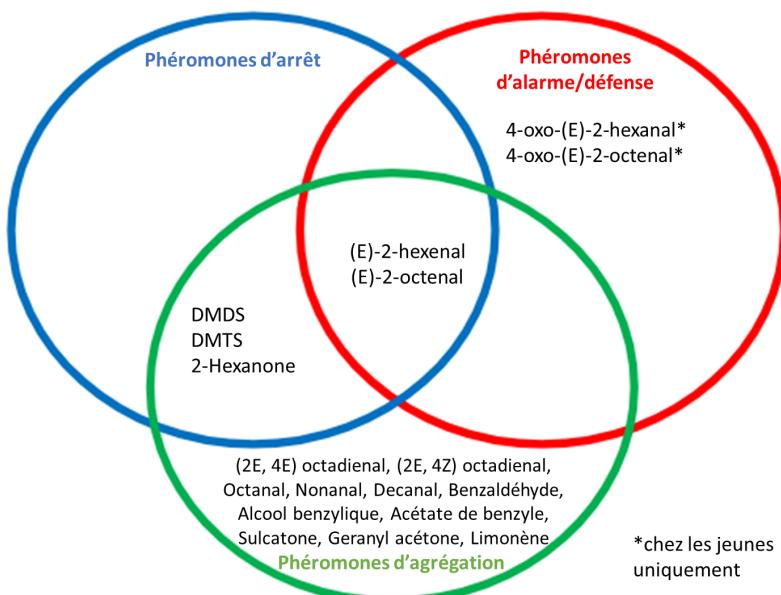


Figure 11 : Écologie chimique volatile de *C. lectularius* : synthèse des principales phéromones connues influençant le comportement des punaises de lit ; adaptée d'après Olson (2015)

6.2.4.2 Détection physique

Mankin et al. (2010) ont envisagé la détection à bas coût de différentes espèces d'insectes nuisibles dont les punaises de lit via des capteurs infra-rouges (IR), acoustiques ou vibrationnels. Le signal d'un capteur polymodal, intégrant ces trois dimensions, permettrait de détecter et d'identifier des insectes nuisibles à la santé humaine. Cependant, de tels outils n'ont pas encore été mis au point à ce jour pour les punaises de lit.

6.2.5 Synthèse des méthodes et outils de détection des punaises de lit

Le Tableau 10 regroupe les méthodes et outils de détection des punaises de lit applicables sur le terrain ou en cours de développement. Il a été réalisé **à partir des données issues de la littérature et des retours d'expérience en lien avec l'expertise terrain des membres du GT en France métropolitaine**.

Les méthodes de détection visuelles, à l'aide de pièges ou olfactives sont d'ores et déjà appliquées ou applicables sur le terrain. L'analyse des experts a conclu que la détection canine est un outil efficace parmi ceux analysés. En outre, les détections visuelles directe et indirecte restent essentielles pour la mise en œuvre des programmes de prévention et de lutte contre

les punaises de lit, à conditions qu'elles soient réalisées par un agent formé et expérimenté. D'autres méthodes (détection physique ou via les émissions chimiques volatiles) sont en cours de développement et devraient être applicables à l'avenir.

Tableau 10 : Méthodes de détection des punaises de lit et leurs limites

Méthodes, outils de détection		Limites connues
Inspection visuelle	Détection visuelle indirecte (piqûres, présence de déjections et de traces de sang)	<ul style="list-style-type: none"> - L'identification des punaises de lit doit être réalisée par une personne formée - Faux négatif ou faux positif possible - Pouvant être chronophage selon la complexité des lieux à investiguer
	Détection visuelle indirecte aidée d'une lampe UV (déjections, trace de sang)	
	Détection visuelle directe (mues, œufs, larves, insectes adultes)	
Pièges	Piège passif sans glu pour pieds de lit (type <i>pitfall</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - L'identification des punaises de lit doit être réalisée par une personne formée
	Piège passif collant (carton/cachette englués)	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre de pièges à déposer à des endroits stratégiques puis à analyser - L'identification des punaises de lit doit être réalisée par une personne formée
	Piège actif avec chimio-attractifs*, et/ou couplé à la production de chaleur, et/ou couplé à la production de CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> - Nombre de pièges à déposer à des endroits stratégiques puis à analyser - L'identification des punaises de lit doit être réalisée par une personne formée - Production de chaleur et/ou de CO₂ limitée dans le temps - Efficacité diminuée si présence humaine (compétition)
Olfaction canine	Chien dressé à la détection des punaises de lit vivantes	<ul style="list-style-type: none"> - Expertise maître-chien dépendant
Méthodes de détection par les émissions de composés chimiques volatiles (COV)		<ul style="list-style-type: none"> - Recherches en cours (demande de dépôt de brevet (CSTB) N° d'enregistrement : FR2209803, INPI Sept. 2022) - Exploitation à venir
Méthode de détection physique (Capteur polymodal : infra rouge, acoustique et vibrationnel)		<ul style="list-style-type: none"> - Recherches en cours

* Les chimio-attractifs utilisés dans les pièges décrits dans ce tableau sont des kairomones pour simuler les émissions volatiles associées à la présence humaine (exhalation, transpiration). Il existe également des pièges contenant des phéromones d'agrégation et d'arrêt pour simuler la présence d'insectes ; ceux-ci sont dépourvus de source de chaleur ou de source de CO₂ (non présentés dans ce tableau).

6.3 Évaluation de la répartition des infestations

Il est essentiel de déterminer le niveau d'infestation **en fonction de la répartition dans l'habitat** afin de proportionner les actions de gestion intégrée à réaliser pour éradiquer l'infestation. Même si les niveaux d'infestation ne sont pas clairement décrits dans les publications, une échelle à sept niveaux est de plus en plus reconnue par les experts, en

France métropolitaine (Akhoundi et al. 2021 et Tableau 11) et à l'international (Rukke, Roligheten, et Aak 2022).

Cette échelle permet d'avoir un discours commun en lien avec un objectif de gestion de l'infestation. Elle est non émotionnelle (de type « beaucoup », « partout », « envahi », « horreur », etc.), c'est-à-dire qu'elle ne prend pas en compte le ressenti des personnes impactées par cet insecte. Elle ne tient pas compte du nombre de punaises mais de leur répartition dans un logement ou dans un bâtiment.

Tableau 11 : Description des sept niveaux d'infestation en fonction de leur répartition dans le logement, l'immeuble ou le quartier

Niveau d'infestation	Description
0	Suite à une inspection : absence de punaise.
1	Détection de punaises au niveau du lit et 1 mètre autour = début d'infestation.
2	Détection de punaises au niveau du lit et dans la chambre (murs, structures autour du lit) = infestation en développement avec colonies satellites possibles (à la jointure mur/plafond).
3	Détection de punaises dans d'autres pièces de l'appartement (autre chambre, salon) = infestation importante.
4	Détection de punaises dans d'autres appartements (ou chambres pour un hôtel par exemple) qui jouxtent l'appartement foyer initial = infestation très importante.
5	Détection de punaises dans presque ou tous les appartements du bâtiment (ou chambres pour un hôtel) = infestation critique.
6	Détection de punaises au niveau d'un quartier (dans plusieurs bâtiments juxtaposés).

Source : Selon l'INELP ([Échelle des infestations - INELP](#))

Il est à noter que pour évaluer les infestations, la plateforme numérique « Stop-punaises.beta.gouv.fr », propose actuellement une échelle à 5 niveaux basée sur des indices visuels (Figure 12). Cette échelle ne prend pas en compte la répartition des punaises dans l'habitat, contrairement à la précédente.

Comment évaluer l'infestation ?

Il est possible de qualifier le niveau d'infestation en fonction de sa gravité. Plus l'infestation est grave, plus le niveau est élevé :

0 Aucune infestation :

Il n'y a pas d'infestation ou la suspicion d'infestation est non avérée.

1 Infestation faible :

- Présence de traces laissées par l'insecte (piqûres, excréments, insectes morts, œufs, mues...)
- Insecte ou larve non visibles même en cherchant

2 Infestation moyenne :

- Présence de traces laissées par l'insecte (piqûres, excréments, insectes morts, œufs, mues...)
- Insectes ou larves visibles après recherche approfondie

3 Infestation élevée :

- Présence de traces laissées par l'insecte (piqûres, excréments, insectes morts, œufs, mues...)
- Insectes visibles à l'oeil nu

4 Infestation très élevée :

- Présence de traces laissées par l'insecte (piqûres, excréments, insectes morts, œufs, mues...)
- Insectes visibles à l'oeil nu
- Plusieurs logements concernés

Source : [Stop punaises - Tout savoir sur les punaises de lit \(beta.gouv.fr\)](https://Stop-punaises.fr/Tout-savoir-sur-les-punaises-de-lit)

Figure 12 : Description des 5 niveaux d'infestation selon Stop punaises

En réalité, il existe pléthore de grilles d'évaluation du niveau d'infestation. Par exemple, chez les bailleurs sociaux, celles-ci sont généralement établies en collaboration avec les entreprises 3D qui réalisent les traitements. Dans ce cas, l'évaluation du niveau d'infestation et la répartition des punaises dans un logement conditionne généralement le nombre de passages de la société pour traiter l'infestation.

Selon le niveau d'infestation et la complexité des lieux à investiguer, le diagnostic sera plus ou moins complexe et chronophage à établir. Dans le cas où le niveau d'infestation est moyen ou élevé dans un site (niveau 2 ou 3 selon le Tableau 11), une simple inspection visuelle permet d'établir le diagnostic. Cependant, dans le cas d'une infestation débutante (de niveau 0 ou 1 selon le Tableau 11), le diagnostic peut être plus complexe et la simple inspection visuelle peut s'avérer insuffisante. Dans ce cas, des outils d'aide au diagnostic pourront alors être déployés, tels que des pièges passifs ou actifs, la détection olfactive canine et/ou des outils permettant de détecter les punaises par leurs émissions chimiques volatiles en cours de développement (voir § 6.2).

7 Méthodes de lutte contre les punaises de lit

Les méthodes de lutte contre les punaises de lit peuvent être de différentes natures : physiques, biologiques ou chimiques. Le texte de la saisine demandait d'analyser les méthodes de lutte alternatives à la lutte chimique. Ainsi, seuls les articles portant sur la lutte physique (voir § 7.1), biologique (voir § 7.2) et la gestion intégrée des infestations par les punaises de lit (voir § 7.5) ont été analysés par le GT, à partir des articles scientifiques sélectionnés lors de la revue systématique de la littérature (voir § 2.1.1).

Les méthodes de lutte chimique ont été décrites à partir des revues déjà disponibles dans la littérature, et sélectionnées par le GT. Ces méthodes de lutte chimique entrent dans le champ de la réglementation européenne des produits biocides (règlement (UE) 528/2012) et sont en cours d'évaluation. Leur efficacité et innocuité sont évaluées dans le cadre de ce processus réglementaire européen. À noter enfin que les méthodes de lutte fondées sur l'utilisation d'agents de contrôle biologique et certaines méthodes de lutte physique (comme les pièges attractifs faisant appel à des substances actives attractives, ou encore les procédés d'anoxie) entrent également dans le champ de la réglementation européenne sur les biocides. En cas d'utilisation en France, ces produits ou procédés doivent faire au préalable l'objet d'une évaluation de leur efficacité et de leur innocuité.

Règlement (UE) 528/2012 ou Règlement Biocides (BPR)

Un produit biocide est défini comme « toute substance ou mélange, sous la forme dans laquelle il est livré à l'utilisateur, constitué d'une ou plusieurs substances actives (SA), en contenant ou en générant, qui est destiné à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre par toute autre action qu'une simple action mécanique ou physique ».

Les produits biocides sont encadrés au niveau européen par le Règlement (UE) 528/2012 du 22 mai 2012 (entré en vigueur le 1er septembre 2013) nommé Règlement Biocides (BPR).

En France, l'autorité compétente est le ministère de la transition écologique, et depuis 2016 l'Anses a la responsabilité de délivrer les autorisations de mise sur le marché (AMM) des produits biocides. Les substances actives et les produits biocides sont catégorisés en 22 « types de produits » (TP) en fonction des objectifs et des organismes nuisibles cibles. Les insecticides et les acaricides appartiennent au TP 18 ; les répulsifs/attractants appartiennent au TP 19. En France, il y a environ 30 000 produits biocides sur le marché.

La réglementation Biocides est basée sur deux niveaux : (i) une approbation par la Commission Européenne des substances actives, (ii) une autorisation de mise sur le marché (AMM nationale ou de l'union européenne) des produits biocides.

La substance active est approuvée si elle ne remplit pas les critères d'exclusion⁴⁷ (PBT, CMR et PE)⁴⁸ et si un usage représentatif (qui correspond au TP revendiqué) est sans risque inacceptable.

⁴⁷ Possibilité de dérogation pour certaines SA qui sont jugées indispensables (art. 5).

⁴⁸ PBT : substance persistante, bioaccumulable et toxique; CMR : cancérogène, mutagène et reprotoxique ; PE : perturbateur endocrinien.

Un produit est autorisé⁴⁹ (avec une AMM) si : (i) il contient des substances actives approuvées, (ii) il est suffisamment efficace contre les cibles revendiquées, et (iii) son utilisation ne présente pas de risques pour la santé humaine, animale et pour l'environnement, dans les conditions d'utilisation autorisées. L'utilisation du produit est encadrée par un résumé des caractéristiques du produit (RCP), adossé à l'AMM. Les états membres de l'Europe évaluent les dossiers des substances actives / TP depuis 2007, et cette évaluation est toujours en cours.

La liste des substances actives biocides évaluées ou en cours d'évaluation dans le cadre du Règlement biocides, ainsi que la liste des produits biocides autorisés au niveau européen pour la lutte contre punaises de lit, sont disponibles sur le site de l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) (<https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-active-substances>).

Par ailleurs, tous les produits biocides (tout type confondu) en France doivent faire l'objet d'une déclaration administrative sur l'application BioCID (<https://biocid-anse.s.fr/biocid#>)⁵⁰. D'après l'application BioCID (consultée le 22 février 2023), il y a 976 produits biocides déclarés en France avec une revendication d'un usage contre les punaises de lit. Parmi les produits déclarés par les pétitionnaires sur l'application BioCID, seul un quart (246 produits) est soumis à AMM (demande d'AMM déposée et en cours d'évaluation, ou AMM délivrée). Les autres produits (730 produits) ne sont pas encore soumis à AMM (régime transitoire) parce qu'ils contiennent des substances actives pour lesquelles l'évaluation n'est pas encore finalisée (ex : le géraniol est une substance active en cours d'évaluation, et l'ensemble des produits contenant du géraniol ne sont pas encore soumis à AMM). Néanmoins, tous ces produits ont vocation dans un avenir plus ou moins proche à être soumis au régime des AMM selon le règlement biocide.

En se basant sur les données de la littérature, les experts du GT ont qualifié :

- l'efficacité de chaque méthode de lutte sur trois niveaux : « faible », « moyenne », « élevée », excepté pour les insecticides chimiques ;
- le niveau d'incertitude sur l'évaluation de l'efficacité sur quatre niveaux : « faible », « moyen », « élevé » ou « absence de données ».

Les critères d'attribution des qualificatifs utilisés pour caractériser l'efficacité des méthodes de lutte ainsi que le niveau d'incertitude dans l'évaluation de l'efficacité sont présentés dans les Tableaux 12 et 13.

Tableau 12 : Critères d'attribution des qualificatifs utilisés pour caractériser l'efficacité des méthodes de lutte

Qualificatifs	Critères d'attribution
Faible	L'application de la méthode en conditions contrôlées provoque une mortalité de punaises inférieure à environ 10 %
Moyenne	L'application de la méthode en conditions contrôlées provoque une mortalité de punaises d'environ 20 à 80 %

⁴⁹ Possibilité de déroger à ce requis dans le cas où « la non-autorisation devrait avoir des conséquences disproportionnées pour la société par rapport aux risques liés à son utilisation ».

⁵⁰ Catalogue répertoriant les produits biocides déclarés sur le marché français, disposant ou non d'une autorisation de mise sur le marché (AMM). L'application BioCID remplace définitivement Simmbad (Système informatique de mise sur le marché des biocides : autorisations et déclarations).

Qualificatifs	Critères d'attribution
Élevée	L'application de la méthode en conditions contrôlées provoque une mortalité de punaises supérieure à environ 80 %

Tableau 13 : Critères d'attribution des qualificatifs utilisés pour caractériser le niveau d'incertitude

Qualification du niveau d'incertitude	Critères d'attribution
Faible	L'évaluation est fondée sur des résultats convergents d'études scientifiques ou sur un système de collecte de données de fiabilité reconnue
Moyen	L'évaluation est fondée sur un nombre limité d'études scientifiques ou sur un système de collecte de données de fiabilité limitée ET sur la présence de convergences entre auteurs et/ou experts
Élevé	L'évaluation est fondée sur : un nombre limité d'études scientifiques ou sur un système de collecte de données de fiabilité limitée ET sur l'absence de consensus entre auteurs et/ou experts ; ou sur un avis individuel d'expert en l'absence d'études scientifiques ou de système de collecte de données
Absence de données	Aucune évaluation n'est réalisée du fait de l'absence totale de données et d'avis d'expert

De plus, en se basant notamment sur leur expertise de terrain, les experts du GT ont qualifié :

- l'applicabilité de chaque méthode sur trois niveaux : « faible », « moyenne » ou « élevée ». Les critères d'attribution des qualificatifs utilisés pour caractériser l'applicabilité des méthodes de lutte sont présentés dans le Tableau 14 ;
- l'impact de chaque méthode sur la santé humaine ou sur l'environnement a été qualifié sur quatre niveaux : « négligeable », « faible », « moyen » ou « élevé ».

Tableau 14 : Critères d'attribution des qualificatifs utilisés pour caractériser l'applicabilité des méthodes de lutte

Qualification de l'applicabilité	Critères d'attribution
Faible	Méthode difficilement applicable, même pour les meubles et les objets infestés de petite taille
Moyenne	Méthode applicable uniquement pour les meubles et des objets de petite taille, et difficilement applicable dans des habitats infestés
Élevée	Méthode applicable pour des habitats infestés

7.1 Méthodes de lutte physique

La recherche bibliographique menée par le GT a permis d'identifier 28 articles portant sur des méthodes physiques de lutte contre les punaises de lit. La typologie de ces articles est présentée dans le Tableau 15. Il est à noter que la grande majorité de ces études ont été menées en laboratoire et les essais visant à évaluer l'efficacité de méthodes physiques de lutte en conditions de terrain sont limités.

Tableau 15 : Typologie des articles sélectionnés et portant sur les méthodes de lutte physique

Méthodes de lutte	Espèce cible	Références
Traitement par la chaleur	<i>C. lectularius</i>	Benoit et al. (2009a) Pereira et al. (2009) Kells et Goblirsch (2011) Loudon (2017) Ashbrook et al. (2022) Rukke et al. (2018) Rukke et al. (2021) Ashbrook et al. (2019)
	<i>C. hemipterus</i>	How et Lee (2010b)
	<i>Cimex</i> spp.	Doggett, Geary, et Russell (2006)
Traitement à la vapeur	<i>C. lectularius</i>	Puckett McDonald, et Gold (2013) Wang, Wang, et Zha (2018) Wang et al. (2018) Ramos et al. (2022)
Traitement par congélation	<i>C. lectularius</i>	Benoit et al. (2009a) Naylor et Boase (2010) Olson et al. (2013) Chebbah et al. (2021) Rukke, Hage, et Aak (2017)
Cryonite®	<i>C. lectularius</i>	Brown et Loughlin (2012)
Lavage du linge, trempage, nettoyage à sec et séchage à chaud	<i>C. lectularius</i>	Naylor et Boase (2010)
Traitement par le vide ou par anoxie	<i>C. lectularius</i>	Liu et Haynes (2016) Xu (2012)
Utilisation des pièges	<i>C. lectularius</i>	Wang et al. (2009) Anderson et al. (2009) Schaafsma, Hapke, et Banfield (2012) Singh et al. (2012) Szyndler et al. (2013) Cooper, Wang, et Singh (2016a)

7.1.1 Traitement par la chaleur sèche

En tant qu'animaux poïkilothermes et ectothermes, la température corporelle et le bilan hydrique des insectes dépend des échanges de chaleur et d'eau avec leur environnement. Leur taille relativement petite résulte en un rapport surface (échange)/volume (réserve) élevé, favorisant ces échanges. Ainsi, dans un environnement chaud, ils gagnent facilement la chaleur et perdent de l'eau de leur corps. Bien que la cuticule imperméable limite la perte

d'eau, cette imperméabilité dépend de la température ambiante. Pour ces raisons, la grande majorité des insectes sont sensibles aux températures élevées et à la sécheresse. Les punaises de lit ne constituent pas une exception.

Plusieurs auteurs se sont intéressés à la tolérance thermique des punaises de lit, notamment Benoit et al. (2009a), Pereira et al. (2009), How et Lee (2010b), Kells et Goblirsch (2011) Ashbrook et al. (2022). Les tests ont été réalisés en laboratoire, en utilisant des méthodes classiques pour mesurer la tolérance des insectes aux températures élevées, c'est à dire en les exposant, individuellement ou en groupe, à des températures constantes qui augmentent graduellement.

Benoit et al. (2009a) ont examiné la tolérance des femelles adultes *C. lectularius* aux températures comprises entre 34 et 48°C pendant 1h (voir § 7.1.3 pour les températures froides) et à la perte d'eau corporelle. En réponse au stress thermique, moins de 20 % des punaises ont survécu à une exposition de 1 h à 46°C, et presque toutes ont été tuées à 48°C. La déshydratation, l'acclimatation à la chaleur à 30°C pendant 2 semaines et l'exposition rapide à la chaleur à 37°C pendant 1 h n'ont pas réussi à améliorer leur tolérance à la chaleur. L'expression des ARNm codant pour deux protéines de choc thermique (HSPs pour *Heat Shock Proteins* en anglais), HSP70 et HSP90, a augmenté en réponse au stress thermique et lors de la déshydratation et de la réhydratation.

Pereira et al. (2009) ont évalué l'effet de « *knock-down* » (perte de coordination et immobilité) rapide de *C. lectularius*, et de mortalité après exposition à des températures élevées (39, 41, 43, 45, 47 et 49 °C) dans un espace confiné (tubes à essai en verre), pendant des durées variables (entre 0,5 et 240 min), selon la température testée. Les auteurs indiquent que des températures proches de 40°C provoquent le *knock-down*, tandis que celles supérieures à 41°C entraînent la mort d'une proportion significative de punaises (100% de mortalité après une exposition de 120 min à 41°C ou de 25 min à 42°C ou d'une minute à 49°C). De plus, des essais de décontamination des meubles par la chaleur ont été réalisés dans le cadre de cette étude. Le mobilier était isolé sous une bâche en plastique ou des panneaux de polystyrène au centre d'une pièce. Des radiateurs électriques à bain d'huile et des ventilateurs ont été utilisés pour réchauffer l'espace confiné. Les résultats de ces essais suggèrent que le traitement de meubles pourrait se faire de manière efficace à des températures autour de 44°C (Pereira et al. 2009). Malheureusement, un facteur très important car fortement lié, à savoir l'humidité relative, n'a pas été pris en compte (voir l'introduction à cette section).

How et Lee (2010b) ont analysé en laboratoire la tolérance des œufs, juvéniles et adultes de *C. hemipterus* à la chaleur et à la sécheresse, en les exposant à des températures comprises entre 20° et 45°C et des humidités relatives de 33, 75 et 100 %. Les résultats de cette étude montrent que la tolérance thermique varie avec le stade de développement et avec l'humidité de l'environnement. Œufs, premier stade larvaire et adultes ont atteint leur limite thermale supérieure après 1 heure à 39°, 44° et 46°C, respectivement et une humidité relative de 75 %. Les profils de survie et de perte d'eau montrent que les punaises non-alimentées meurent après avoir perdu 35-45 % de leur poids. Du point de vue de la lutte, cet article confirme que la chaleur et la sécheresse sont fortement délétères pour les punaises de lit. Les valeurs de température critique trouvées (entre 39° et 46°C selon les stades) sont en ligne avec celles observées par d'autres auteurs.

De plus, Kells et Goblirsch (2011) ont déterminé en laboratoire la température critique (TC) et le temps létal d'exposition (TL) de *C. lectularius* à des hautes températures, en plaçant des groupes d'œufs et d'adultes nourris ou affamés à l'intérieur de tubes. Les résultats de l'étude

ont montré que les punaises tolèrent bien des températures au-dessous de 45°C, mais qu'elles meurent rapidement à des valeurs plus élevées. Ce niveau de tolérance est relativement normal pour un insecte hématophage de petite taille, et est similaire à ceux trouvés par d'autres auteurs.

Aussi, Loudon (2017) a déterminé le temps létal d'exposition d'adultes de *C. lectularius* à des températures comprises entre 45° et 75°C par paliers de 5°C, dans des conditions restreintes (puits dans un bloc d'aluminium). À partir de 50°C, la totalité des punaises étaient mortes en moins d'une minute. À 45°C, elles meurent après 2 minutes. Les résultats de cette expérience classique de tolérance thermique ont été similaires à ceux obtenus par d'autres auteurs pour la même espèce.

Enfin, Ashbrook et al. (2022) ont évalué en laboratoire la tolérance thermique de *C. lectularius* appartenant à des populations différentes. Les insectes ont été placés dans un abri et une rampe de température croissante a été générée. Comme critère de tolérance, les auteurs ont choisi la température à laquelle les punaises ont abandonné le refuge. Ils ont quantifié également l'expression des protéines de choc thermique HSP. Les punaises se sont activées et abandonnaient leurs abris à des températures comprises entre 40° et 43°C et, comme attendu, l'expression de deux variants de HSP70 a augmenté avec l'exposition à des températures élevées. Cette étude apporte des informations sur la tolérance thermique et sa base physiologique chez les punaises de lit, confirmant les valeurs de températures critiques obtenues par d'autres auteurs. Du point de vue de l'application à la lutte contre les punaises, l'étude confirme que, comme tous les insectes, les punaises sont sensibles à la chaleur et réagissent en s'éloignant des endroits où la température devient trop élevée.

En 2018, Rukke et al. ont étudié les effets sous-létaux du stress thermique modéré (34°-38°C), maintenu pendant 2 ou 3 semaines de manière continue ou interrompue, sur *C. lectularius*. Les insectes, au nombre de 60 adultes et 60 larves, ont été distribués dans des "unités expérimentales" contenant 6 individus de chaque stade. Les auteurs ont identifié des effets délétères sur la survie, la fécondité et le succès de la descendance, en soulignant l'intérêt que ce type d'exposition à des températures sous-létales pourrait avoir pour la lutte. Cependant, les conditions de l'étude ne permettent pas d'évaluer des réponses observées récemment par d'autres auteurs et qui pourraient avoir lieu dans des conditions de terrain, comme la fuite (voir Ashbrook et al. (2022)).

Aussi, Rukke et al. (2021) ont évalué en laboratoire la mortalité de juvéniles et adultes de *C. lectularius* face à différents stress sub-létaux, à savoir, la privation de sang, une exposition à la chaleur (32°, 34° ou 36°C) ou à une poudre disséquante et à des champignons entomopathogènes, présentés seuls ou de manière combinée. Les auteurs rapportent une addition des effets, ce qui augmente la mortalité des punaises, notamment des juvéniles. Ils suggèrent que la combinaison de ces outils pourrait améliorer la lutte contre les punaises de lit.

Ashbrook et al. (2019) ont voulu déterminer si *C. lectularius* était capable d'incrémenter sa tolérance thermique par effet de la sélection, par exposition pendant des périodes variables d'entre 10 et 25 min dans des tubes en verre submergés dans un bain d'eau à 45°C. La sélection et le suivi d'individus provenant de populations différentes n'ont révélé aucune variation de la tolérance thermique, mesurée comme proportion de survivants à la procédure au bout de 7 générations. Par ailleurs, les auteurs reportent des effets délétères sous-létaux de l'exposition à la chaleur sur la mue et l'alimentation. Ces expériences menées en laboratoire devraient donner des indices pour savoir si les traitements thermiques de lutte contre les

punaises de lit peuvent engendrer le développement d'une forme de résistance, car chez d'autres insectes ce type de pression de sélection artificielle provoque une augmentation de l'expression des HSPs, lesquelles font partie des mécanismes de tolérance aux hautes températures. Une interprétation des résultats en termes de conséquences sur la lutte de terrain est difficile.

Concernant les essais de terrain, Loudon (2017) a mesuré l'efficacité d'un traitement contre les punaises se trouvant à la surface de valises dans une enceinte à 75°C. Le temps de traitement requis pour tuer les punaises variait entre 3 et 6 min selon que les punaises se trouvaient sur la surface de la valise ou cachées entre les plis extérieurs (e.g., plis des poches ou poignés). Les auteurs préconisent qu'un traitement de 6 min à 75°C serait un moyen efficace pour traiter les bagages et éliminer les punaises qui se trouvent à l'extérieur. Bien que cette étude soit intéressante, ces valeurs correspondent à des tests faits en utilisant une valise en particulier (*i.e.*, une seule forme, taille et géométrie) et seulement sur les insectes à la surface et non à l'intérieur des valises.

En 2023, Chebbah et al. ont montré, que l'augmentation de la température d'une pièce (4,3 x 2,9 x 2,9 m) à **60°C pendant 120 min** (en utilisant un chauffage portable générant des températures allant jusqu'à 75°C) est suffisante pour éliminer les *C. lectularius* adultes dans différents conditions (couvertes de tissus, à l'intérieur des meubles, des matelas ou des couvertures) (Chebbah et al. 2023)⁵¹. Par ailleurs, Doggett, Geary, et Russell (2006) ont montré que la méthode consistant à emballer des matelas infestés dans du plastique noir et à les placer au soleil était inefficace. Une exposition pendant 9 h à une température extérieure de 36,5°C (Australie) n'était pas suffisante pour tuer les punaises de lit.

En conclusion, l'exposition des punaises de lit à des températures élevées produit trois effets reconnaissables. Une chaleur légère (38-40°C) augmente l'activité des punaises et induit un comportement d'éloignement des punaises par rapport à la source de chaleur. Une chaleur plus élevée (41°-43°C) induit une perte de coordination suivie d'une immobilité ou *knock-down*. Enfin, une exposition de plusieurs heures à des températures autour de 40°C ou de quelques minutes à des températures supérieures à 46°C entraîne la mort des insectes.

Diverses mesures faites en laboratoire sur la température critique supérieure indiquent que la mort se produisent lors d'une exposition de quelques minutes à des températures qui dépassent les 46°C. Cette valeur est relativement élevée par rapport à beaucoup d'autres insectes, mais en ligne avec celles obtenues pour d'autres insectes hématophages, lesquels possèdent des mécanismes faisant face au stress thermique, notamment ceux rencontrés à chaque prise d'un repas sanguin. Au-delà du stress thermique, la chaleur induit une perte d'eau, plus ou moins intense selon l'humidité relative de l'environnement, laquelle n'est pas toujours indiquée dans les études.

Concernant la lutte contre les punaises sur le terrain, l'application efficace de la chaleur dépend également de facteurs physiques. La chaleur sèche peut accélérer la dessiccation, mais le transfert de chaleur aux insectes est moins efficace que s'il s'agit de chaleur humide. Ce type de traitement par la chaleur est très efficace lorsqu'il est effectué directement sur les punaises ou leurs lieux de repos. Par contre, en conditions réelles, il sera toujours délicat de cibler tous les lieux de repos des insectes.

⁵¹ Article paru en avril 2023, après le travail de sélection des articles réalisé par le GT dans le cadre de la revue systématique.

Les experts du GT considèrent que les traitements par la chaleur sèche (60°C pendant deux heures environ⁵² pour une pièce ou une exposition à plus de 46°C pour de petits objets ou des surfaces non protégées) constituent l'une des méthodes efficaces pour éliminer les punaises de lit. Ce type de traitement par la chaleur sèche peut être considéré comme une composante d'une approche intégrée pour le contrôle des punaises de lit.

Les experts qualifient :

- (i) l'**efficacité** de cette méthode de « **élevée** » avec un niveau d'incertitude « **faible** » ;
- (ii) l'**applicabilité** de cette méthode de « **moyenne** » (applicable par les professionnels utilisant des appareils adaptés pour des objets infestés et les habitats. L'applicabilité de cette méthode par les particuliers reste à démontrer) ;
- (iii) le **risque pour la santé humaine** de « **faible** » (risque secondaire lié à l'inhalation des aérosols relâchés par les appareils de chauffage) ;
- (iv) le **risque pour l'environnement** de « **faible** » (possible altération de l'objet, voire risque d'incendie en cas de non-respect des mesures de sécurité).

Afin de compléter cette analyse, une évaluation rigoureuse de l'efficacité de différents appareils destinés au traitement par le chaud, menée *in situ* dans des conditions identiques, semble nécessaire.

7.1.2 Traitement à la vapeur (chaleur humide ou sèche)

Puckett McDonald, et Gold (2013) ont étudié la durée d'exposition à la vapeur de punaises de lit (la température à la sortie de l'appareil à vapeur n'est pas indiquée) nécessaire pour avoir un effet sur la mortalité. L'étude a été réalisée d'abord sur des œufs de *C. lectularius* dans les conditions d'une arène expérimentale reproduisant un lit. Le traitement à la vapeur (J-4000DM Jiffy steamer - Jiffy Steamer Company, Union City, TN) a été réalisé sur toute la longueur de l'arène pendant des durées de 10, 20 et 30 secondes. L'éclosion des œufs a été surveillée à 1 à 30 jours après le traitement. Contrairement au témoin, il n'y a pas eu d'éclosion après exposition, quelle que soit la durée d'exposition à la vapeur. Une autre partie de l'étude a porté sur les adultes et les larves. La mortalité a été évaluée à 5, 10, 15 et 30 min, puis à 1, 3 et 7 h après traitement. La mortalité moyenne des adultes et larves dans tous les groupes traités était significativement supérieure à celle des témoins non traités à chaque période d'observation. Les conclusions de l'étude sont que le pourcentage moyen de mortalité des œufs de punaises de lit était de 100 % (quelle que soit la durée d'exposition), et celui des larves et des adultes variait de 88 à 94 %. Selon les auteurs, cette méthode semble efficace sur les œufs mais moins sur les larves et adultes. De plus, il n'a pas été mis en évidence de détérioration des matelas suite aux traitements à la vapeur.

Wang, Wang, et Zha (2018) ont analysé les effets à court terme du traitement à la vapeur (Steamax ; (Model: STM-BASIC; AmeriVap Systems, Inc., Dawsonville, GA) sur la mobilité, l'alimentation, le comportement d'accouplement et la fécondité des punaises de lit (*C. lectularius*) adultes vierges (<7 j après l'émergence des adultes) collectées dans des appartements infestés de New-York. La mortalité a été testée en laboratoire après exposition des punaises de lit à une pression de 379 kPa et des températures de 51,7°C pendant une heure (la température maximale à la sortie de l'appareil était de 85,6°C). Les traitements à la

⁵² L'important est d'atteindre une température létale aux différents endroits de la pièce. La durée de traitement est par conséquent à ajuster en fonction de l'environnement.

vapeur peuvent temporairement réduire les niveaux d'activité et le taux d'alimentation des punaises de lit, mais n'ont pas d'impact significatif sur le comportement d'accouplement et la fécondité des punaises de lit. Cette première étude ne s'est pas intéressée à la mortalité des punaises de lit.

Dans un second temps, Wang et al. (2018) ont évalué l'efficacité d'un traitement à la vapeur sur la mortalité des punaises de lit sauvages à tous les stades. Pour cela, ils ont utilisé trois appareils différents, deux grands-publics (HAAN et Steamfast) et un professionnel (Steamax) pendant une durée de 1 à 8 secondes dans différentes conditions (la température à la sortie des appareils variait entre 71,9 et 82,7°C) pour traiter des : punaises accessibles sur les matelas, dissimulées sous des housses en tissu ou en cuir, ou dans une fissure. La mortalité a été de 100 % pour les trois types de machine pour tous les stades sur les matelas et dans les fissures, supérieure à 89 % sous les tissus mais n'a pas été significative sous le cuir. Cette étude, considérée de bonne qualité (plusieurs conditions expérimentales, analyses statistiques des résultats, etc.) semble apporter des éléments de preuve quant à l'efficacité des traitements à la vapeur dans la lutte contre les punaises de lit à tous les stades.

En (2022), Ramos et al. ont comparé, en conditions de laboratoire, l'efficacité d'un traitement à la vapeur (Polti Cimex Eradicator, Polti USA Inc. Los Angeles, CA ; la température à la sortie de l'appareil à vapeur sèche est de 180°C selon le fabricant) ou la pulvérisation d'un mélange d'insecticides, le Transport® GHP (0,05 % d'acétamipride et 0,06 % de bifenthrine) pour lutter contre une souche de *C. lectularius* présentant une faible résistance (performance ratio = 2,059 basé sur la concentration létale médiane (CL50)). Ainsi, ces deux traitements ont été appliqués sur trois types de meubles infestés (chaise de bureau, fauteuil rembourré, et table en bois), et ont respectivement permis de réduire significativement ou d'éliminer les populations de punaises de lit (sans différence significative entre les deux méthodes). Cependant, il est à noter que le traitement par la vapeur a permis de réduire plus rapidement le nombre de punaises que la pulvérisation par le Transport® GHP (Ramos et al. 2022).

Plus la température émise par l'appareil à vapeur est élevée, plus la probabilité d'elever la température de la punaise et de ses œufs au-delà de 55-60°C augmente, et plus la durée d'exposition nécessaire pour induire une mortalité des punaises diminue. **Ce type de traitement est très efficace lorsqu'il est effectué directement sur les punaises dans leurs lieux de repos. Par contre, en conditions réelles, il est toujours délicat de cibler tous les lieux de repos des insectes.** Les traitements à la vapeur peuvent être considérés comme une composante d'une approche intégrée pour le contrôle des punaises de lit.

Les experts qualifient :

- (i) **l'efficacité** de cette méthode de « élevée » avec un niveau d'incertitude « **faible** » ;
- (ii) **l'applicabilité** de cette méthode de « **moyenne** » ;
- (iii) le **risque pour la santé humaine** de « **négligeable** » ;
- (iv) le **risque pour l'environnement** de « **moyen** » (possible altération de l'objet traité).

7.1.3 Traitement par le froid

7.1.3.1 Congélation

Benoit et al. (2009a) ont examiné la tolérance des femelles adultes *C. lectularius* aux extrêmes de température pendant 1h (-6°, -8°, -10°, -12°, -14°, -16°, -18°C pour les températures

froides) et à la perte d'eau corporelle. Bien que le point de surfusion⁵³ des punaises de lit était d'environ -20°C, toutes ont été tuées par une exposition directe de 1 h à -16 °C. Ainsi, cette espèce ne peut pas tolérer le gel et est tuée à des températures inférieures à son point de surfusion. Ni l'acclimatation au froid à 4°C pendant 2 semaines ni la déshydratation (perte de 15 % de teneur en eau) n'ont amélioré la tolérance au froid. Cependant, les auteurs ont observé que l'exposition des punaises de lit de 1 heure à 0°C a amélioré leur tolérance ultérieure de -14 à -16°C.

L'expression des ARNm codant pour deux protéines de choc thermique, HSP70 et HSP90, a été élevée en réponse au stress dû au froid (ainsi qu'au stress thermique -voir § 7.1.1) et lors de la déshydratation et de la réhydratation.

Naylor et Boase (2010) ont testé l'efficacité du nettoyage pour tuer les différents stades de punaises de lit et ainsi aider à prévenir la réinfestation et la dispersion. Ils se sont intéressés aux températures minimales pour le lavage et le séchage, ainsi qu'aux temps de séchage au sèche-linge, au trempage à froid, au nettoyage à sec et à la congélation comme stratégies alternatives pour les articles délicats (voir § 7.1.4). Concernant le traitement par le froid, les auteurs ont observé que la congélation pendant 2 h à -17°C a tué 100 % de tous les stades de punaises. Les données des enregistreurs de température ont révélé qu'il fallait 8 h pour que la température au centre d'un sac de linge sec de 2,5 kg tombe à -17°C. Il faut donc prendre en compte la quantité de linge pour atteindre la température au centre du linge.

Olson et al. (2013) ont exposé au laboratoire des *C. lectularius* à différentes températures comprises entre 0 et -40°C, afin de déterminer leur tolérance au froid et les taux de mortalité des différents stades. Le point de surfusion moyen pour tous les stades de vie des punaises de lit variait de -21,3°C à -30,3°C, avec la valeur la plus basse pour le stade de l'œuf. Une régression Probit⁵⁴ a fourni une température létale la plus basse (TL99)⁵⁵ de -31,2°C lorsque toutes les estimations pour les différents stades de vie étaient combinées, démontrant que tous les stades des punaises de lit ne sont pas capables de survivre à des températures inférieures à la température de congélation du corps et sont donc intolérants au gel. Dans des conditions supérieures à la TL99, la mortalité des punaises de lit dépendait de la température et du temps d'exposition à des températures supérieures à TL99. D'après les modélisations réalisées, les punaises semblent pouvoir survivre à des températures supérieures à -12°C, même après une semaine d'exposition continue. Cependant, l'exposition à des températures inférieures à -13°C entraîne une mortalité de 100 % de tous les stades de la vie (en 85h à -15°C et 80h à -16°C, le temps nécessaire diminuant avec la température).

Dans l'étude d'Olson et al. (2013), les punaises de lit se sont révélées moins sensibles aux températures froides que dans les études de Benoit et al. (2009a) et Naylor et Boase (2010) (respectivement 100 % de mortalité avec une exposition de 1 h à -16 °C et -17°C pendant 2h). D'après Olson et al. (2013), ces différences de résultats peuvent être attribuées à la source du sang utilisé. Les deux précédentes études utilisaient respectivement du sang de lapin ou de poulet pour nourrir les punaises, alors que cette dernière étude utilisait du sang humain. Les différences dans les résultats pourraient également être attribuées aux taux plus lents de refroidissement et de réchauffement auxquels les punaises de lit ont été soumises dans cette dernière étude. Naylor et Boase (2010) ont utilisé un taux de refroidissement

⁵³ Point de surfusion : température au-dessous du point de congélation normal auquel les liquides en surfusion deviennent solides.

⁵⁴ Une régression Probit examine la relation entre deux variables.

⁵⁵ Température corporelle en dessous de laquelle l'organisme ne peut pas survivre.

compris entre $-0,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ et $-0,13^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (environ), et les deux études antérieures (Benoit, et al. 2009a; Naylor et Boase 2010) ont remis les punaises de lit à la température ambiante sans étape intermédiaire de réchauffage. Au contraire, dans la dernière étude d'Olson et al. (2013), les punaises de lit ont été temporairement exposées à des températures intermédiaires de 0 et 5°C avant les traitements de congélation et à nouveau après le traitement, avant leur remise à température ambiante.

Chebbah et al. (2021) ont également cherché à évaluer la température létale et les temps requis pour le traitement par le froid des punaises de lit dans diverses conditions simulant leurs habitats naturels (sans protection, avec des tissus, des meubles ou tissus + meubles). Ils ont exposé des punaises de lit (spécimens sauvages de *C. lectularius* prélevés dans 5 lieux différents à Paris) pendant 15, 30, 60 et 120 min à -20°C . Dans les conditions non protégées, protégées par des tissus (360 échantillons), des meubles (360) ou des tissus plus meubles (360), la mortalité à 100% a été observée en 60 min tandis que pour les spécimens protégés par des doubles couches de couvertures, une mortalité de 100 % a été observée après 2h à -20°C .

Rukke, Hage, et Aak (2017) ont étudié les effets immédiats et à long terme de l'exposition de punaises de lit à des températures de 0 à -10°C pendant 1, 2 et 3 semaines. Les larves et les adultes du cinquième stade ont été exposés à des températures constantes ou fluctuantes. L'augmentation du froid et la prolongation du temps ont entraîné une mortalité plus élevée ; les larves étaient plus résistantes que les adultes aux durées d'exposition plus courtes. À des températures intermédiaires, la mortalité était plus élevée à température constante par rapport aux températures fluctuantes, alors que tous les individus sont morts après 3 semaines d'exposition à -7°C . Le succès du traitement par le froid chez les survivants a également été mesuré en termes de réduction de la production d'œufs, de réduction du taux d'éclosion des œufs et de capacité des larves du cinquième stade à passer au stade adulte. Cependant, les larves produites après un traitement par le froid se sont développées normalement.

Rares sont les articles disponibles s'intéressant à l'efficacité des traitements par le froid sur la mortalité des punaises de lit (5 en tout depuis 2009). Dans ces articles, les températures étudiées étaient comprises entre 0 et -40°C et ont été appliquées pendant des durées comprises entre 15 min et 3 semaines. Ces articles montrent tous un effet des températures froides sur la mortalité des punaises de lit, avec une efficacité avérée à partir de -7°C (pour une exposition de 3 semaines). Plus la température est basse, plus le temps d'exposition pour un traitement efficace est court (100 % de mortalité avec une exposition de -17°C pendant 2h pour Naylor et Boase (2010)).

Les résultats suggèrent que des températures inférieures à -7°C peuvent être appliquées pour lutter contre cet insecte si le temps de traitement disponible n'est pas un facteur limitant (3 semaines à -7°C). Une attention particulière doit être portée à la température à l'intérieur du sac contenant le matériel ou le linge à traiter et à la durée de la congélation nécessaire, qui dépend de la température au cœur du matériel à traiter. Pour un traitement plus court et une bonne efficacité, une congélation de 24 h, voire 48 h, peut être conseillée, en s'assurant que l'objet, dans sa totalité, est bien à -20°C . Cette technique est facile à mettre en œuvre et peu coûteuse pour traiter le linge, les chaussures ou des objets de petite taille. De plus, ce procédé permet d'éviter la détérioration des fibres fragiles, contrairement au lavage. Pour les objets volumineux (mobilier, matelas...) ou les grosses quantités à traiter, il est possible de recourir à des congélateurs industriels ou chambres froides réservés au traitement des punaises. Dans tous les cas, déplacer les affaires infestées par les punaises de lit comporte des risques de

dissémination, c'est pourquoi il est important de déplacer, dans la mesure du possible, les effets personnels dans des sacs plastiques de haute résistance hermétiquement fermés.

Les experts du GT considèrent que **la congélation est l'une des méthodes efficaces pour éliminer les œufs, les larves et les punaises de lit adultes**. Aussi, les experts recommandent ce procédé pour lutter contre les punaises de lit, dans le cadre d'une gestion intégrée. **Ils qualifient :**

- (i) **l'efficacité** de cette méthode de « **élevée** » avec un niveau d'incertitude « **faible** » ;
- (ii) **l'applicabilité** de cette méthode de « **moyenne** » (applicable pour des vêtements ou de petits objets, voire des meubles en chambre froide) ;
- (iii) le **risque pour la santé humaine** de « **négligeable** » ;
- (iv) le **risque pour l'environnement** de « **négligeable** ».

7.1.3.2 Cryonite®

Brown et Loughlin (2012) ont testé l'efficacité de la Cryonite®⁵⁶ pour lutter contre les punaises de lit en conditions réelles. La vitesse de refroidissement de l'appareil (*Cryonite system Sivandersson Sweden*) est très rapide et atteint -60°C. Les auteurs ont procédé à 2 traitements pendant 2 jours consécutifs sur 3 sites différents : 1) un refuge pour sans-abri de 51 chambres vacantes à 80 %, avec mobilier, et matelas sévèrement infestés, 2) une maison de ville vide, de deux étages de 113 m² avec une infestation sévère des chambres, 3) une maison individuelle vide avec infestation modérée de deux chambres sur trois. Les auteurs indiquent de très bons résultats de l'appareil, mais l'article ne fournit pas de données chiffrées.

Les données concernant les traitements par Cryonite® sont insuffisantes pour apporter la preuve de leur efficacité. De plus, il a été mis en évidence que les appareils de congélation "flash" (utilisant de l'azote liquide ou de la carboglace) sous haute pression peuvent projeter les punaises non mortes au loin ou encore des exuvies au sein desquelles se trouvent des stades juvéniles par courants d'air (Feldlaufer et Loudon 2011).

En se basant sur l'expertise terrain, **les experts du GT qualifient** :

- (i) l'efficacité de cette méthode de « **faible** » avec un **niveau d'incertitude « élevé »** ;
- (ii) l'applicabilité de cette méthode de « **faible** » ;
- (iii) le **risque pour la santé humaine** de « **moyen** » (risque de brûlure et d'intoxication par le CO₂ relâché en milieu clos) ;
- (iv) le **risque pour l'environnement** de « **négligeable** ».

7.1.4 Lavage du linge, trempage, nettoyage à sec et séchage à chaud

Naylor et Boase (2010) ont testé l'hypothèse selon laquelle le lavage est suffisant pour tuer toutes les punaises à tous les stades et ainsi aider à prévenir la réinfestation et la dispersion. Ils ont utilisé différentes méthodes pour éliminer les punaises de lit des vêtements : lavage en machine, séchage, trempage à froid, nettoyage à sec et congélation dans différentes conditions. La survie des différents stades de punaises a été évaluée immédiatement après la fin de l'essai ou après réchauffement, et l'éclosion des œufs à 1 semaine. En machine, le lavage à 60°C est le seul efficace pour tous les stades. Le séchage à chaud à plus de 40°C

⁵⁶ La Cryonite® est une technique qui consiste à « geler » les insectes grâce à la projection de dioxyde de carbone à une température extrêmement basse de l'ordre de -78°C.

et pendant 30 min est le seul efficace pour tous les stades. Le trempage à froid (15°C) de 24h est efficace seulement pour larves et adultes (pas pour les œufs). Le nettoyage à sec avec du perchloroéthylène⁵⁷ est efficace. Selon les auteurs, toutes les méthodes peuvent être efficaces en respectant des conditions d'usages spécifiques (trempage à froid seulement pour les stades larves et adultes). La faisabilité et les coûts sont à prendre en compte pour choisir la méthode la plus adaptée à chaque ménage. Cependant, cette étude ne présente pas de données statistiques et peu de données sur la variabilité entre répliques.

Un seul article s'est intéressé à l'efficacité du lavage, du trempage, du nettoyage à sec et le séchage à chaud sur la mortalité des punaises de lit. D'après cet article, le lavage en machine à 60°C et le séchage du linge à plus de 40°C et pendant 30 min sont efficaces pour éliminer tous les stades de punaises (œufs, larves et adultes) des vêtements. **Les experts qualifient :**

- (i) **l'efficacité** de ces méthodes de « **élevée** » avec un **niveau d'incertitude « élevé »**,
- (ii) **l'applicabilité** de ces méthodes de « **moyenne** » (applicabilité réservée à la décontamination du linge),
- (iii) le **risque pour la santé humaine de « négligeable »**,
- (iv) le **risque pour l'environnement de « négligeable »**.

Le trempage à froid de 24h est efficace seulement pour les larves et les adultes mais ne semble pas efficace pour se débarrasser des œufs. **Les experts qualifient :**

- (i) **l'efficacité** de cette méthode de « **faible** » avec un **niveau d'incertitude « élevé »**,
- (ii) **l'applicabilité** de cette méthode de « **moyenne** »,
- (iii) le **risque pour la santé humaine de « négligeable »**,
- (iv) le **risque pour l'environnement de « négligeable »**.

Le lavage à sec semble être létal pour les punaises, probablement par l'action des solvants utilisés. Il peut probablement être utilisé ponctuellement pour des tissus délicats. **Les experts qualifient :**

- (i) **l'efficacité** de cette méthode de « **élevée** » avec un **niveau d'incertitude « élevé »**,
- (ii) **l'applicabilité** de cette méthode de « **moyenne** »,
- (iii) le **risque pour la santé humaine de « élevé »**,
- (iv) le **risque pour l'environnement de « élevé »**.

7.1.5 Traitement par le vide ou par anoxie⁵⁸

Liu et Haynes (2016) ont étudié, en laboratoire, l'efficacité d'un traitement par ultra faible taux d'oxygène (*ultralow oxygen* ; ULO), où un flux d'azote gazeux a été utilisé pour éliminer l'oxygène du milieu expérimental ainsi que l'efficacité d'un traitement par le vide, dans des conditions de pression négative (-800, -900 mbar), sur la survie des punaises de lit (œufs,

⁵⁷ Le perchloroéthylène est classé cancérogène catégorie 2 H351 et toxicité chronique pour l'environnement catégorie 2 H411 selon le règlement CLP.

⁵⁸ Les traitements faisant appel à l'azote gazeux N₂ et au dioxyde de carbone CO₂ entrent dans le champ du Règlement Biocides (BPR). Ces deux substances actives ont été approuvées et par conséquent une AMM est nécessaire pour encadrer leur usage. A ce jour, il n'y a pas d'AMM pour l'utilisation l'azote dans le cadre de la lutte contre les punaises de lit. Un produit à base de CO₂ bénéficie d'une AMM pour un usage contre les punaises de lit (https://www.anses.fr/fr/system/files/biocides/decisions/RENTOKILCO_BC-QB012305-62_NA-MRP_D.pdf).

larves, adultes). Les tests ont été réalisés à différentes concentrations d'oxygène (de 0,1 à 3 %) et à différentes températures (25, 30 ou 35°C) pendant des durées de 6, 8, 12, 18, 24 ou 48h. Tous les stades de développement ont été sensibles à des traitements à faible O₂ et ULO, les œufs plus que les larves/adultes. La mortalité des punaises a augmenté quand le pourcentage d'O₂ diminuait et quand le temps d'exposition augmentait. Tous les stades de développement ont été sensibles au vide avec une mortalité liée à la température. Cependant, les résultats de cette étude sont difficiles à comparer car les conditions ne sont pas toujours les mêmes (température et temps d'exposition variables selon les % d'O₂ et les stades) et auraient mérité une analyse statistique plus complète (avec une ANOVA à plusieurs facteurs pour tester l'effet de chaque facteur et prendre en compte la structuration en réplicas).

Une autre méthode de lutte consiste à la saturation de l'atmosphère en CO₂. Wang, Lü, et Xu (2012) ont montré qu'après respectivement 7h et 13 h d'exposition à une atmosphère composée de 100 % de CO₂, les œufs et les adultes/larves de *C. lectularius* sont tués. Une atmosphère de 94 % de CO₂ dans des sacs hermétiques remplis des objets infestés était suffisante pour tuer tous les stades de développement de *C. lectularius* après une durée de 24 à 48 h (selon la quantité des objets placés dans chaque sac).

Le traitement par le vide, l'anoxie par ultra faible taux d'oxygène ou par saturation de l'atmosphère par du CO₂ dans des sacs hermétiques sont des méthodes qui peuvent être utilisées en alternative aux traitements thermiques pour traiter des objets infestés sensibles aux températures (livres, matériels électroniques, canapés, etc.). Néanmoins, ces procédés sont difficiles à mettre en œuvre à l'échelle d'un logement et nécessiteraient des conditions de sécurité élevées. Une attention particulière doit être portée lors de l'utilisation du CO₂ dans des sacs hermétiques, aussi les niveaux de CO₂ dans la pièce doivent être surveillés pour prévenir les risques d'asphyxie.

Les experts qualifient :

- (i) l'**efficacité** de ces méthodes de « **élevée** » avec un **niveau d'incertitude « élevé »** ;
- (ii) l'**applicabilité** de ces méthodes de « **faible** » ;
- (iii) le **risque pour la santé humaine** de « **faible** » pour le traitement par le vide ou par anoxie et « **élevé** » pour la saturation de l'atmosphère par CO₂ ;
- (iv) le **risque pour l'environnement** de « **négligeable** ».

7.1.6 Nettoyage (aspiration, brossage) ou suppression des objets infestés

Parmi l'ensemble des articles sélectionnés par le GT, aucun article n'évalue l'efficacité du nettoyage (aspiration, brossage) ou la suppression des objets infestés pour lutter contre les punaises de lit.

D'après le rapport du CNEV (2015), passer l'aspirateur réduit significativement le nombre de punaises, mais cette méthode n'est que très partiellement efficace sur les œufs qui restent accrochés à leur support. Le brossage peut être suggéré, en particulier pour l'élimination des œufs mais il peut être source de dispersion de l'infestation.

De plus, la suppression d'objets infestés, si elle permet de se débarrasser en partie du problème, peut également être source de dissémination des punaises et de contamination d'autres sites, par la récupération des éléments jetés. Dans la majorité, la suppression de

l'objet peut être évitée par souci d'économie, car l'objet peut le plus souvent être traité (CNEV, 2015).

En l'absence de données publiées sur l'efficacité du nettoyage (par aspiration ou brossage) et de la suppression des objets infestés, les experts se sont basés sur l'expertise terrain pour qualifier :

- (i) **l'efficacité** de ces méthodes de « **moyenne** » avec un **niveau d'incertitude « élevé »** ;
- (ii) **l'applicabilité** de ces méthodes de « **élevée** » (applicables dans tous les habitats infestés) ;
- (iii) le **risque pour la santé humaine** de « **négligeable** » ;
- (iv) le **risque pour l'environnement** de « **négligeable** » pour le nettoyage et de « **moyen** » pour la suppression des objets infestés (source de contamination d'autres sites).

7.1.7 Pièges passifs (feuille de haricot) et actifs (*pitfall*)

Pièges passifs

Szyndler et al. (2013) ont décrit les mécanismes de piégeage des punaises de lit par les trichomes de plants de haricot, en usant des techniques de microscopie et de vidéographie. En utilisant des polymères aux propriétés physiques similaires aux parois végétales, les auteurs ont ensuite fabriqué des surfaces qui ressemblent à de vraies feuilles, y compris par la présence de trichomes. Ces surfaces synthétiques accrochent temporairement les punaises de lit mais n'entraînent pas leur locomotion aussi efficacement que les vraies feuilles.

*Pièges actifs*⁵⁹

Lors d'essais menés en laboratoire à l'aide de pièges de type *pitfall*, Wang et al. (2009) ont démontré que *C. lectularius* est attirée par le CO₂ et dans une moindre mesure par la chaleur. Des pièges semblables, émettant du CO₂ et un mélange d'attractants (1-octen-3-ol et acide lactique) ont ensuite été installés dans quatre appartements faiblement infestés, et ont permis la capture d'une quinzaine de punaises en moyenne par piège et par nuit (nombre qui dépend du niveau d'infestation du logement).

Anderson et al. (2009) ont démontré en laboratoire l'efficacité de pièges attractifs (75% de punaises capturées) émettant à la fois du CO₂, de la chaleur et des attractants (acide propionique, acide butyrique, acide valérique, octenol et acide acétique). Testés en appartements infestés mais inhabités, ces pièges se sont montrés efficaces dans la capture des insectes (1 476 punaises capturées dans un appartement sur une durée de deux semaines).

Schaafsma, Hapke, et Banfield (2012) ont installé des pièges collants diffusant des attractants (composition non communiquée), de la chaleur et du CO₂. Ils ont ainsi caractérisé la composition des populations de punaises ainsi capturées dans des appartements.

Singh et al. (2012) ont évalué au laboratoire douze produits chimiques pour leur pouvoir attractif envers les punaises de lit, en combinaison avec la chaleur et le CO₂. Les pièges les

⁵⁹ Les pièges actifs, faisant appel à des substances actives attractives sont soumis au Règlement Biocides (BPR), leur efficacité et innocuité seront évaluées à terme dans un processus réglementaire européen. A ce jour, aucune demande d'AMM n'a été déposée pour un usage contre les punaises de lit pour ce type de pièges et aucun de ces produits n'a donc été évalué.

plus efficaces contenaient à la fois le CO₂ et le mélange d'attractants suivant : nonanal, de 1-octen-3-ol, huile de menthe verte et huile égyptienne de coriandre.

Cooper, Wang, et Singh (2016a) ont installé des pièges de type 'pitfall' au niveau des lits et dans des meubles, au sein d'appartements faiblement infestés. Ils ont démontré que le piégeage, réalisé durant 22 semaines en appartement occupé de leurs habitants, permet d'éliminer la totalité des punaises (aucune prise de punaises pendant huit semaines consécutives et aucune détectée lors des inspections visuelles) dans 85 à 95 % des appartements (selon le type d'appartement étudié), sans l'utilisation d'insecticides.

Selon une revue de la littérature récente (Crawley et Borden 2021), ce type de piège n'est cependant pas adapté à une gestion intégrée des infestations (*Integrated Pest Management*), à cause de leur coût élevé et du manque de praticité associé à leur mise en place.

Les pièges placés en appartements infestés (occupés ou non par leurs habitants) permettent la capture de punaises de lit et peuvent donc être considérés comme une composante d'une gestion intégrée. L'usage d'attractants à faible dose permet de renforcer le pouvoir attractif des pièges qui utilisent la chaleur ou le CO₂. Cependant, l'utilisation des pièges couplés aux attractants n'est vraisemblablement pas suffisante pour maîtriser des infestations importantes (ils entrent notamment en compétition avec l'attractivité des occupants), mais peut contribuer à limiter la croissance d'une population naissante et à réduire la taille des populations existantes.

Les experts qualifient :

- (i) l'**efficacité** de cette méthode de « **faible** » pour lutter contre les infestations de punaises de lit, avec un **niveau d'incertitude « élevé »**,
- (ii) l'**applicabilité** de cette méthode de « **élevée** » (applicable dans tous les habitats infestés),
- (iii) le **risque pour la santé humaine de « négligeable »**,
- (iv) le **risque pour l'environnement de « négligeable »**.

En plus d'être l'un des outils possibles pour réduire les populations de punaises de lit, les pièges peuvent également servir à la détection et à la surveillance des punaises (cf. § 6.2)

7.2 Méthodes de lutte fondées sur l'utilisation d'agents de contrôle biologique

L'utilisation d'agents de contrôle biologique, c'est à dire de micro-organismes pathogènes des punaises (entomopathogènes), peut être un moyen de lutte contre les insectes, en particulier pour ceux résistants aux insecticides chimiques. Malgré l'application réussie des méthodes de lutte biologique contre divers insectes nuisibles, cette approche n'a pas été explorée en profondeur dans le cas des punaises de lit. Toutefois, quelques études ont permis de mettre en évidence de possibles utilisations de certains de ces entomopathogènes, même si de nombreuses optimisations restent à réaliser. Il est à noter que l'utilisation des entomopathogènes est soumise au Règlement Biocides, aucun produit à base d'entomopathogènes n'est autorisé en France à ce jour.

La recherche bibliographique menée par le GT a permis d'identifier sept articles portant sur l'utilisation d'agents de contrôle biologique dans la lutte contre les punaises de lit. La typologie de ces articles est présentée dans le Tableau 16.

Tableau 16 : Typologie des articles sélectionnés et portant sur les méthodes de lutte biologique

Méthodes de lutte	Espèce cible	Références
Utilisation des bactéries entomopathogènes	<i>C. lectularius</i>	Pietri et Liang (2018) Pietri et Potts (2021)
Utilisation des champignons entomopathogènes	<i>C. lectularius</i>	Bararin et al. 2012 Bararin et al. 2017 Ulrich et al. 2014 Aak, Hage, et Rukke 2018 Dery et Choe (2022)

7.2.1 Les bactéries

Une étude menée par Pietri et Liang (2018) a montré que *Serratia marcescens*, *Pseudomonas fluorescens* et *Bacillus thuriengensis israelensis*⁶⁰ sont pathogènes pour des adultes d'une lignée de *C. lectularius* résistante aux pyréthrinoïdes. Les auteurs constatent que la virulence des bactéries entomopathogènes dépend de leur voie d'administration et par exemple *B. thuriengensis israelensis* n'est pathogène que lorsqu'il est ingéré. Pour *S. marcescens* et *P. fluorescens*, le taux de mortalité est dépendant du mode de délivrance (i.e., ingestion via un repas de sang ou injection dans le thorax), de la dose bactérienne et de la température après traitement (mortalité à 37°C plus élevée que celle observée à 25°C). Tous ces paramètres, et sans doute d'autres, doivent être pris en considération et bien caractérisés avant de pouvoir utiliser une souche particulière de bactéries pour lutter contre les punaises de lit.

C. lectularius, comme tous les insectes, possède un système immunitaire qui lui permet de lutter contre les agents pathogènes tels que les bactéries. Suite à une infection, se développent des réponses cellulaires (phagocytose, encapsulation, etc.) et des réponses humorales (synthèse de peptides antimicrobiens...). La mise en place de telles réactions laisse présager le développement progressif de résistances contre ces agents de lutte. Pour pallier cette éventualité, Pietri et Potts (2021) proposent d'inhiber la réponse immunitaire de *C. lectularius* préalablement à une ingestion orale de bactéries entomopathogènes. Pour cela, les auteurs ont fait ingérer plusieurs inhibiteurs de la voie de signalisation immunitaire NF- κ B et testé leur effet sur la mortalité des punaises de lit (mâles et femelles adultes) suite à une infection par *Pseudomonas entomophila* ou *Bacillus thuriengensis*. Avec cette étude, les auteurs ont montré que : (1) *P. entomophila* est pathogène pour les punaises, (2) l'inhibition de la voie de signalisation NF- κ B avec la molécule IKK16 augmente très fortement la mortalité des punaises suite à une infection par *P. entomophila*. Cette étude, qui s'appuie sur l'utilisation du couple inhibiteur de réponse immunitaire / bactérie pathogène, met en évidence le besoin de connaître parfaitement tous les acteurs du système immunitaire des punaises et toutes les spécificités possibles du pathogène pour trouver les partenaires optimaux du couple.

⁶⁰ Dans le cadre du Règlement Biocides certaines souches de *Bacillus thuriengensis israelensis* ([Bacillus thuringiensis subsp. israelensis Serotype H14, Strain AM65-52](#) et [Bacillus thuringiensis subsp. israelensis, strain SA3A](#)) ont été approuvées en tant que substance active biocide. À l'heure actuelle aucune demande d'AMM n'a été déposée pour des produits à base de *Bacillus thuriengensis israelensis* destinés à la lutte contre les punaises de lit.

7.2.2 Les champignons

À ce jour, plusieurs souches de champignons ont été testées en laboratoire pour lutter contre les punaises de lit (principalement sur *C. lectularius*) : *Beauvaria bassiana*, *Isaria fumosoroseus*, *Lecanicillium muscarium* et *Metarhozium anisopliae* (Barbarin et al. 2012; 2017; Ulrich et al. 2014; Aak, Hage, et Rukke 2018). De ces études ressort le fait que seule *B. bassiana* est réellement efficace contre des espèces de punaises et que cette efficacité est variable en fonction de certains critères tels que, la formulation, la température, le taux d'humidité et la méthode d'application (Barbarin et al. 2012; 2017; Aak, Hage, et Rukke 2018).

Aprehend® (ConidioTec LLC, Centre Hall, PA) est une formulation biopesticide commercialisée depuis 2017 aux États-Unis⁶¹ et spécifiquement conçue pour tuer les punaises de lit en utilisant les spores du champignon entomopathogène *B. bassiana*. Semblable à de nombreux ingrédients actifs dans les insecticides chimiques classiques, les spores de *B. bassiana* agissent par contact. Aprehend® est pulvérisé pour produire des barrières de 5 cm de large, là où les punaises de lit sont susceptibles de se déplacer à la recherche d'un repas de sang, notamment autour des cadres de lit, des sommiers (pas les matelas) et des meubles. Lorsque les punaises de lit traversent la barrière, les spores se fixent, germent et pénètrent la cuticule, puis finissent par coloniser le corps. La mort de la punaise de lit survient en 4 à 10 jours (Barbarin et al. 2012; 2017). Toutefois, comme pour les bactéries, on peut imaginer que des résistances se mettent en place au fil du temps et, à ce titre, une étude récente de Dery et Choe (2022) montre que les niveaux élevés d'aldéhydes produits par la punaise de lit (comme molécules de défense contre les infections fongiques) dans les microhabitats auraient un impact négatif sur l'efficacité de *B. bassiana*. Cet impact pourrait être une voie possible pour créer une résistance à ce biopesticide. Dans cette même étude, les auteurs conseillent d'éliminer les exuvies existantes (source principale de ces aldéhydes), des sites d'hébergement des punaises de lit avant de procéder à l'application.

La combinaison d'un traitement insecticide chimique avec une méthode de lutte biologique a également été testée (Shikano et al. 2019; Shikano 2020). Ces travaux ont permis de mettre en évidence que le traitement combiné de la housse de matelas avec de la perméthrine (ActiveGuard®) et du sommier avec des champignons entomopathogènes (Aprehend®) induit, même si des comportements d'évitement des deux supports sont observés, une mortalité presque complète. Même si ces observations contre-intuitives méritent d'être explorées plus en profondeur, cela suggère une compatibilité entre les deux outils dans le cadre d'une gestion intégrée des infestations par les punaises de lit.

Bien que l'évaluation de l'innocuité pour l'être humain et l'environnement de ces agents biologiques soit un pré-requis nécessaire à l'usage de ces derniers, notamment dans les logements, les méthodes de lutte biologique présentées ci-dessus semblent prometteuses, et prennent déjà en considération les possibles développements de résistance contre les bactéries et/ou les champignons entomopathogènes. Toutefois, la quasi-totalité de ces études sont réalisées en laboratoire (dans des enceintes de taille réduite avec une forte humidité), les tests en conditions plus "réalistes" ne sont pas documentés, et aucune discussion n'est abordée sur les possibilités et/ou difficultés de mise en œuvre de ces méthodes de lutte biologique sur le terrain (e.g., contrôle de la

⁶¹ Dans le cadre du Règlement Biocides *Bauvaria bassiana* n'a pas fait l'objet d'une demande d'approbation en tant que substance active biocide. A l'heure actuelle aucun produit à base de *Bauvaria bassiana* ne peut être commercialisé en Europe.

température et du taux d'humidité dans une pièce de plusieurs mètres carrés pour optimiser l'action de produits utilisés).

En se basant sur les articles disponibles dans la littérature, les experts qualifient :

(i) **l'efficacité** de ces méthodes de « **faible à élevée** », selon l'agent entomopathogène utilisé, avec un **niveau d'incertitude « moyen »** ;

En se basant sur l'expertise terrain, les experts qualifient :

(ii) **l'applicabilité** de ces méthodes de « **faible** ».

Étant donné que ces méthodes sont en cours d'expérimentation pour la lutte contre les punaises de lit, **les risques pour la santé humaine et pour l'environnement n'ont pas été évalués par les experts**.

Il est à noter que plusieurs produits à base de Bti ont une AMM pour un usage contre les moustiques. L'évaluation de ces produits montre que leur utilisation en tant que larvicides contre les moustiques ne présente pas de risque pour l'être humain, l'animal ou l'environnement, ceci dans le respect des conditions d'autorisation.

7.3 Méthodes de lutte chimique

7.3.1 Les insecticides chimiques

7.3.1.1 Principaux modes d'action des insecticides chimiques

Bien que les pyréthrinoïdes soient la classe d'insecticides la plus utilisée actuellement pour lutter contre les punaises de lit, d'autres classes d'insecticides ont été ou peuvent être utilisées dans le cadre de la lutte chimique (notamment d'autres insecticides agissant sur le système nerveux).

Afin de mieux comprendre les différences entre ces classes, les modes d'actions des insecticides sont présentés succinctement ci-dessous (voir Tableau 17), et les spécificités de chaque classe d'insecticides sont résumées dans l'Annexe 9 par ordre croissant de catégorie IRAC (<https://irac-online.org/mode-of-action/classification-online/>) d'après les informations contenues dans la base de données <https://www.sagepesticides.qc.ca/> (impact général, action spécifique, conséquences physiologiques, toxicité, persistance environnementale, groupe de résistance, exemple de formulation et usage en France). Le site de l'ECHA (<https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-active-substances>) recense également les substances actives biocides approuvées ou en cours d'évaluation dans le cadre du Règlement biocides. Pour chaque substance active approuvée, le rapport d'évaluation, qui comporte le profil toxicologique et écotoxicologique complet, est disponible sur le site de l'ECHA.

Effets sur le système nerveux : la majeure partie des insecticides actuellement utilisés impacte le système nerveux des insectes :

- en perturbant la propagation de l'influx nerveux par l'ouverture du canal sodium voltage-dépendant de la cellule pré-synaptique (pyréthrinoïdes, organochlorés), provoquant ainsi des tremblements, des spasmes et une mort rapide ;
- en surexcitant les neurones, provoquant ainsi une hyperexcitabilité des insectes qui mène à leur mort après convulsions :

- par le blocage de l'acétylcholine estérase, une enzyme qui dégrade les neurotransmetteurs dans l'espace inter-synaptique (carbamates, organophosphates) ;
- par le blocage des récepteurs post-synaptiques GABA (phénylpyrazoles, avermectines) ;
- en bloquant l'excitation des neurones par le blocage des récepteurs post-synaptiques à l'acétylcholine (néonicotinoïdes, spinosynes), provoquant ainsi des tremblements et une paralysie.

Effets sur la respiration cellulaire : les insecticides ayant un effet sur la respiration cellulaire perturbent la chaîne respiratoire mitochondriale. Les pyrroles court-circuitent le gradient de protons, alors que les quinolines bloquent le complexe III de la chaîne de transport des électrons. Ils diminuent ainsi la production d'ATP qui sert d'énergie à l'insecte.

Effets sur la croissance : certains insecticides impactent la croissance des insectes et bloquent la métamorphose lorsqu'ils sont appliqués à des stades larvaires. Les benzoyl-urées inhibent la synthèse de la chitine, ce qui bloque la mue. Les agonistes des récepteurs aux hormones de croissance, tels que l'hormone juvénile (pyriproxyfene) ou l'ecdysone (diacylhydrazines) conduisent à une mue prématuée incomplète et létale.

Effets sur la contraction musculaire : les idiamides anthraniliques activent les récepteurs à la ryanodine des cellules musculaires, ce qui libère le calcium du réticulum et conduit à la contraction musculaire puis à la paralysie.

Effets sur la biosynthèse des lipides : les kétoénoles impactent la formation des acides gras en bloquant l'acétyl-coenzyme A carboxylase. Ceci impacte fortement la mue et limite la fertilité des insectes.

Tableau 17 : Modes d'actions des principales classes d'insecticides utilisées dans la lutte contre les punaises de lit

Classe d'insecticides	Impact général	Action spécifique	Conséquences physiologiques
Carbamates	Système nerveux	Surexcitation des neurones par blocage irréversible de l'acétylcholine estérase	Hyperactivité, hyperexcitabilité, convulsions
Organophosphates	Système nerveux	Surexcitation des neurones par blocage irréversible de l'acétylcholine estérase	Hyperactivité, hyperexcitabilité, convulsions
Phénylpyrazoles	Système nerveux	Blocage des récepteurs post-synaptiques GABA	Hyperactivité, hyperexcitabilité, convulsions
Pyréthinoïdes	Système nerveux	Potentiels d'actions non coordonnés du fait de la non-fermeture des canaux sodiques de la cellule nerveuse pré-synaptique	Tremblements, convulsions, incoordination, salivation
Organochlorés	Système nerveux	Ouverture des canaux sodiques des neurones	Spasmes, mort rapide
Nicotinoïdes, néonicotinoïdes	Système nerveux	Arrêt de l'influx nerveux par blocage irréversible des récepteurs post-synaptiques nicotiniques à l'acétylcholine	Tremblements, paralysie
Spinosynes	Système nerveux	Neurotoxique au niveau d'un site spécifique du récepteur d'acétylcholine et secondairement par blocage du canal chlore du récepteur GABA	Paralysie

Classe d'insecticides	Impact général	Action spécifique	Conséquences physiologiques
Avermectines	Système nerveux	Influx nerveux continu par blocage irréversible des récepteurs post-synaptiques GABA	Hyperactivité, hyperexcitabilité, convulsions
Pyrroles	Respiration cellulaire	Découpleur de la phosphorylation oxydative via la perturbation du gradient de protons	Diminution de la production d'énergie
Benzoyl-urées	Croissance	Inhibition de la synthèse de chitine	Blocage de la mue
Pyriproxyfen	Croissance	Agoniste des récepteurs aux hormones de croissance (hormone juvénile)	Mue prématuée incomplète et létale
Diacetylhydrazines	Croissance	Agoniste des récepteurs aux hormones de croissance (ecdysone)	Mue prématuée incomplète et létale
Quinolines	Respiration cellulaire	Perturbation de la chaîne respiratoire (action sur le complexe III dans la chaîne de transport des électrons mitochondriaux)	Diminution de la production d'énergie
Kétoénoles	Biosynthèse des lipides	Impact sur la formation des acides gras et blocage de l'acétyl-Coenzyme A carboxylase	Mue incomplète, infertilité
Diamide anthranilique	Contraction musculaire	Inhibition des récepteurs à ryanodine	Paralysie

7.3.1.2 Généralités sur l'efficacité des insecticides chimiques

7.3.1.2.1 *Usage*

Selon les critères d'inclusion développés au § 2.1.1, 142 articles portant sur l'usage des insecticides chimiques et leur efficacité sur différentes lignées de punaises de lit ont été identifiés. Cependant, ces articles n'ont pas été analysés dans le cadre de la revue systématique. Une synthèse des connaissances générales, basée sur des revues sélectionnées par les experts, est présentée dans la suite du 7.3.1.5.

Les différentes classes d'insecticides ciblent des voies physiologiques variées de manière à tuer, immobiliser et/ou stériliser les insectes nuisibles. Dans le cadre du règlement biocide, l'efficacité du produit est testée avant mise sur le marché, dans des conditions contrôlées en laboratoire sur des lignées d'insectes d'élevage (sensibles aux insecticides) et dans des essais de terrain sur des souches sauvages (dont le degré de résistance aux insecticides est inconnu). Le critère d'efficacité exigée est une éradication totale à la fin des traitements, sur les stades de développement revendiqués. Le protocole d'application à suivre est indiqué dans la notice d'utilisation de l'insecticide.

Les études montrent que l'efficacité d'un traitement au moyen d'insecticides dépend principalement de leur classe, de leur mode de délivrance (poudre, spray, matériau préalablement imprégné (ex : housse pour matelas), etc.), de la dose utilisée, de la durée du traitement, de l'expérience de la personne appliquant l'insecticide (professionnel ou particulier), et de la lignée de punaises testée (sensible ou résistante aux insecticides).

7.3.1.2.2 *Combinaisons*

Des combinaisons d'insecticides de différentes classes ou d'insecticides et de synergistes peuvent être utilisées. Chez les moustiques par exemple, la combinaison entre le piperonyl

butoxide (PBO, un inhibiteur des oxydases dont les enzymes de détoxication) et un pyréthrinoïde augmente l'efficacité de l'insecticide (Kongmee et al. 2019).

L'association du PBO avec différents insecticides semble globalement efficace sur deux souches de *C. hemipterus* (How et Lee 2011). Cependant, une étude réalisée sur différentes lignées de *C. lectularius* suggère que l'efficacité de ce type de combinaison dépend des mécanismes de résistance des lignées étudiées (Romero, Potter, et Haynes 2009).

7.3.1.3 Toxicité des insecticides utilisés pour lutter contre les punaises de lit

La toxicité des insecticides sur les organismes non-cibles est variable selon les familles d'insecticides, les modes de délivrance, les organismes testés (tests généralement réalisés sur rongeurs, poissons, daphnies, oiseaux, insectes) (voir le site québécois SAgE pesticide⁶², le site de l'ECHA⁶³ pour l'ensemble des rapports d'évaluation des substances actives biocides et la revue de Lushchak et al. (2018)).

L'utilisation des insecticides peut être à l'origine d'intoxications accidentelles. En effet, entre 2007 et 2021, les centres antipoison ont enregistré 1 056 cas d'intoxications à des produits chimiques utilisés pour lutter contre les punaises de lit, soit environ 70 cas par an en moyenne. (Anses 2022). Les principaux symptômes sont une gêne respiratoire, de la toux, une douleur ou irritation oropharyngée, mais aussi des démangeaisons, des maux de tête ou encore des vertiges. Parmi ces cas, douze intoxications graves et un décès, survenus pour l'essentiel avec des produits interdits en France (Anses 2022).

Certains insecticides peuvent présenter une toxicité à long terme pour les personnes, à la suite d'une exposition chronique (même à faible dose).

Enfin, la persistance des insecticides dans les sols et les eaux et leur potentiel à être lessivés, bien qu'étant variable, participent fortement à la pollution de l'environnement agricole et domestique (Meftaul et al. 2020).

7.3.1.4 Tolérance et résistance aux insecticides chimiques

7.3.1.4.1 *Définitions*

L'efficacité des insecticides peut être limitée par la présence intrinsèque ou l'évolution de mécanismes de résistance aux insecticides chez les organismes cibles. Dans le cadre de l'usage des insecticides, l'*Insecticide Resistance Action Committee* (IRAC) définit la **tolérance** comme « toute capacité naturelle à résister à l'action des insecticides, mais qui n'est pas le résultat de changements génétiques causés par la pression de sélection des insecticides ». Au contraire, la **résistance** est définie comme « tout changement héréditaire dans la sensibilité d'une population d'organismes nuisibles, qui se traduit par l'incapacité répétée d'un produit à atteindre le niveau de contrôle attendu lorsqu'il est utilisé conformément aux recommandations de l'étiquette pour cette espèce d'organisme nuisible ».

7.3.1.4.2 *Sélection d'allèles de résistance*

Les allèles de résistance existant dans une population peuvent être sélectionnés s'ils apportent un **bénéfice** lié à une meilleure survie ou reproduction des insectes en présence de l'insecticide. Cependant, il existe généralement un **coût physiologique** pour l'insecte à

⁶² <https://www.sagepesticides.qc.ca>

⁶³ <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-active-substances>

exprimer cette résistance. La fréquence de l'allèle de résistance dans la population dépend donc fortement de la balance coût/bénéfice en présence et absence de l'insecticide.

La sélection d'allèles de résistance dépend également de la **dose** utilisée, de la **fréquence** d'application et de la **pérennité** de l'effet lié aux insecticides. En effet, plus la dose est forte et appliquée de manière chronique (et/ou avec un effet rémanent), plus la pression de sélection sera élevée et plus la sélection d'allèles de résistance sera efficace.

La structure de la population peut enfin jouer un rôle important. En effet, la **migration** d'individus résistants dans des populations initialement sensibles permet l'introduction de nouveaux allèles de résistance. La fréquence des allèles de résistance peut ensuite augmenter rapidement dans ces populations du fait du bénéfice associé à la résistance en présence d'insecticides mais également de la vigueur des hybrides (*heterosis*).

7.3.1.4.3 Mécanismes de résistance

Il existe de nombreux mécanismes de résistance chez les insectes (pour plus de détails : voir revue de Dang et al. (2017)) :

- la résistance **comportementale** consiste pour l'insecte à éviter ou à diminuer son exposition à l'insecticide de manière dépendante (ex : répulsion) ou indépendante de la présence du stimulus (ex : caches) ;
- la résistance **cuticulaire** réduit la pénétration de l'insecticide à travers la première ligne de défense (ex : augmentation de l'épaisseur de la cuticule) ;
- la résistance par **modification de cible** est liée à la sélection de mutations sur les récepteurs aux insecticides (ex : mutation *kdr* (*knock-down resistance*) sur le gène du canal sodium voltage-dépendant (VDGC)) ;
- la résistance **métabolique** permet une meilleure détoxication enzymatique de l'insecticide (ex : augmentation de la synthèse d'estérases, de cytochromes P450, etc.) ;
- la résistance **médiée par un symbioète** est une voie encore peu décrite dans la littérature, dans laquelle le métabolisme du symbioète détoxifierait l'insecticide.

Les différents types de résistance n'impliquent pas les mêmes mécanismes moléculaires et ne sont donc pas mutuellement exclusifs. Une **action synergique** peut même réduire les coûts pour l'insecte et augmenter l'efficacité de la résistance globale. Par exemple, la fuite dans des refuges et l'augmentation de l'épaisseur de la cuticule aboutit à une plus faible pénétration de l'insecticide dans le corps de l'insecte. Cela pourrait ainsi réduire l'intensité de surexpression des enzymes de détoxication nécessaires pour résister à l'insecticide et donc son coût pour l'insecte.

7.3.1.5 Focus sur la résistance aux insecticides chez *C. lectularius*

7.3.1.5.1 Diversité des résistances aux insecticides chez *C. lectularius*

De nombreuses études cherchent à caractériser la diversité des résistances observées et leur répartition mondiale, ainsi que leurs mécanismes moléculaires et évolutifs. Chez *C. lectularius*, quasiment tous les types de résistance physiologique ont été décrits dans la littérature, et mis en évidence par des expériences de dose-réponse, des dosages biochimiques et/ou des caractérisations en génétique moléculaire (revue dans Dang et al. (2017)) :

- résistance de pénétration à travers la cuticule, efficace contre toutes les classes d'insecticides ;

- résistance métabolique (par la sur-expression d'estérases, cytochromes P450 ou transporteurs ABC), efficace contre la plupart des pyréthrinoïdes, néonicotinoïdes, pyrroles, organophosphates, carbamates et organochlorés ;
- résistance par modification de cible (*Kdr* VDGC), principalement efficace contre les pyréthrinoïdes et le dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT).

D'après les études publiées, ces résistances sont majoritairement observées dans les pays industrialisés ayant un large usage des insecticides (États-Unis, Europe, Australie, Japon, Argentine) (Durand et al. 2012; Candy et al. 2018; Akhouni et al. 2021; Moshaverinia et al. 2022), bien que certains de ces insecticides ne soient plus autorisés en France (ex : DDT interdit en 1971) et dans la majeure partie du monde.

7.3.1.5.2 Exemples de sélection rapide de la résistance chez *C. lectularius*

En réponse à l'usage passé du DDT et l'usage actuel des pyréthrinoïdes, de nombreux insectes ont évolué vers des niveaux de résistance plus ou moins forts par la modification du canal sodium voltage-dépendant, cible de ces insecticides. De manière intéressante, les mutations *kdr* ne sont pas présentes chez les lignées de punaises de lit infestant les chauve-souris, qui ne sont pas soumises à des pressions insecticides dans les caves (Balvín et Booth 2018). Au contraire, plusieurs mutations (*i.e.*, haplotypes) ont été décrites seules ou en combinaison dans les lignées d'Europe, des États-Unis, d'Australie et d'Israël (Balvín et Booth 2018).

Pour pallier le nombre croissant de populations de punaises de lit ayant un niveau de résistance élevé aux pyréthrinoïdes, de plus en plus de combinaisons d'insecticides sont mises sur le marché, telles que des formulations combinant pyréthrinoïdes et néonicotinoïdes (ex : Temprid®). Cependant, la pression de sélection reste forte et la résistance peut évoluer rapidement. Par exemple, en laboratoire, les punaises survivant à une application de Temprid® à une dose tuant de l'ordre de 80 % des punaises adultes produisent des punaises qui survivent à environ 80 % à ce même traitement contre environ 20 % pour celles issues de mères non traitées (Gordon et al. 2014). Ces résultats suggèrent que la sélection d'allèles de résistance peut se faire sur une génération, et ce dans trois populations ayant un fond génétique différent.

Cependant, cette résistance à la combinaison (pyréthrinoïde + néonicotinoïde) possède un coût important pour les punaises en l'absence d'insecticide, notamment un temps de génération allongé et un taux de reproduction réduit (Gordon, Potter, et Haynes 2015). L'augmentation en fréquence des allèles codant pour ces mécanismes de résistance peut ainsi être limitée par la balance entre les avantages sélectifs en présence d'insecticides et les coûts en l'absence d'insecticides.

Conclusion du GT sur l'utilisation des insecticides pour lutter contre les punaises de lit

L'usage d'insecticides, bien que très largement utilisés pour lutter contre certaines souches de punaises de lit et efficaces dans certaines conditions, présente au moins deux inconvénients majeurs.

D'une part, lorsque les traitements insecticides ne tuent pas 100 % des individus, le **risque de sélection d'une résistance** est très fort. Plusieurs leviers peuvent être mis en place afin de limiter l'évolution de la résistance. Par exemple, les méthodes de lutte physique permettent d'éliminer à la fois les punaises sensibles et résistantes, et donc de limiter la sélection de la

résistance. Limiter les migrations de punaises de lit permet également de réduire le risque d'introduction d'allèles de résistance dans des populations sensibles. Enfin, en cas de recours aux insecticides, il faut veiller à ce que les traitements tuent 100 % des individus (tous stades confondus) et n'induisent pas de dispersion des punaises. Ce résultat peut être obtenu en combinant par exemple plusieurs insecticides ayant un mode d'action (et de mécanisme de résistance) différent, ou en utilisant des synergistes qui augmentent l'efficacité des insecticides.

D'autre part, les insecticides sont utilisés en intérieur pour lutter contre les infestations, ce qui peut engendrer un **risque d'intoxication pour l'être humain**, plus ou moins important en fonction de la classe d'insecticide, de la dose, du mode d'administration, et du respect ou non des conditions d'utilisation. En effet, entre 2007 et 2021, les centres anti-poison relèvent de nombreux cas d'intoxication (70 cas par an en moyenne). Ces cas d'intoxication peuvent être sévères, voire mortel pour l'usage d'un insecticide non autorisé en France (voir rapport de toxicovigilance (Anses 2022)).

Les produits insecticides vendus sur le marché et disposant d'une AMM sont évalués sur des souches sauvages dans des essais en conditions réelles. L'efficacité est validée si une éradication totale de l'infestation est obtenue au terme du (des) traitement(s), ce qui présume de l'absence de résistance des punaises à l'insecticide dans ces essais. Néanmoins, malgré le respect des conditions d'emploi lors de traitements, le produit utilisé peut s'avérer inefficace s'il est utilisé sur des insectes résistants. Par ailleurs, en cas d'échec du traitement, les non-professionnels peuvent être tentés de ne pas respecter les conditions du produit (dose/durée/fréquence souvent augmentés), amplifiant ainsi le risque d'intoxication des usagers et la pression de sélection menant à une résistance accrue contre les insecticides. C'est pourquoi, dans les AMM des produits biocides à usage non-professionnel, il est demandé de faire appel à des professionnels de la désinsectisation en cas d'échec du traitement et de respecter rigoureusement les conditions d'usage du produit.

(i) Les experts du GT n'ont pas évalué l'efficacité des insecticides chimiques sur différentes lignées de punaises de lit. Il est à rappeler que ces substances sont encadrées par le Règlement biocides, leur l'efficacité est évaluée dans ce cadre (voir les rapports d'évaluation des substances actives biocides approuvées sur [le site de l'ECHA](#)). Cependant, les experts rappellent l'existence de résistances des punaises de lit à certaines classes d'insecticides, ce qui réduit l'efficacité des produits insecticides.

En se basant sur l'expertise terrain, les experts qualifient :

- (ii) l'applicabilité de cette méthode de « élevé » ;
- (iii) le risque pour la santé humaine de « élevé », en cas de non-respect des conditions d'utilisation imposées dans les AMM ;
- (iv) le risque pour l'environnement de « élevé », en cas de non-respect des conditions d'utilisation imposées dans les AMM.

7.3.2 Insecticides à action déshydratante : les silicates

7.3.2.1 Mécanisme d'action des silicates

Des composés minéraux, disponibles sous forme de poudre ou d'aérosols, comme la terre de diatomées (Akhtar et Isman 2013; 2016) et le dioxyde de silicium d'origine synthétique (Singh

et al. 2016) sont souvent utilisés dans la lutte contre les punaises de lit. Ces composés sont appelés « poussières déshydratantes » parce qu'elles se fixent sur la cuticule des insectes et entraînent la mort par dessiccation (Kuronic 1998). La terre de diatomées est un produit naturel fabriqué à partir d'une roche sédimentaire (diatomite) constituée essentiellement des restes des exosquelettes siliceux fossilisés des diatomées (algues unicellulaires). Elle a aussi des propriétés abrasives avec des particules tranchantes agissant comme des rasoirs microscopiques (Zeni et al. 2021). Les produits commercialisés à base de terre de diatomées sont composés essentiellement des dioxydes de silicium amorphe (non calciné) et d'une faible proportion de diatomite cristalline (calcinée).

7.3.2.2 Efficacité des silicates dans la lutte contre les punaises de lit

Plusieurs études ont montré l'efficacité des poussières déshydratantes dans la lutte contre les punaises de lit (Akhtar et Isman 2013; 2016; Benoit, et al. 2009b; Singh et al. 2016; Wang, Gibb, et Bennett 2009). Singh et al. (2016) ont montré que l'action du dioxyde de silicium synthétique (CimeXa - 100% *Amorphous Silica Gel*, 6.1 g/m², *Rockwell Labs Ltd, North Kansas City, MO*) sur les punaises de lit était plus rapide que celle de la terre de diatomées (*MotherEarth D - 100% Diatomaceous Earth*, 18.3 g/m², *BASF Corporation, St. Louis, MO*). La rapidité d'action est aussi dépendante de la dose utilisée. La lenteur d'action de la terre de diatomées peut être un élément favorable à la dispersion de cet insecticide et donc à son efficacité (Doggett et al. 2012). Akhtar et Isman (2013) ont montré que la terre de diatomées peut être transportée et autodisséminée par les punaises, ce qui facilite la propagation des particules vers les gîtes de repos situés dans des espaces difficiles d'accès. Ainsi, du fait de leur action mécanique et de leur importante activité résiduelle, les poussières déshydratantes présentent une meilleure efficacité contre les punaises de lit que les pulvérisations à base de pyréthrinoïdes (Anderson et Cowles 2012).

Par ailleurs, l'efficacité de la terre de diatomées peut être améliorée par l'ajout d'un agent de dispersion, tel que les phéromones d'alarme (Benoit, et al. 2009b) qui augmentent l'activité locomotrice des punaises de lit et provoque ainsi un contact plus élevé avec la terre de diatomées. De même, l'utilisation du CO₂ en tant qu'attractant améliore l'efficacité du dioxyde de silicium synthétique en poudre (*Syloid 244 FP* ; *GRACE GmbH & CO, Germany*) (Aak et al. 2017). Au contraire, l'humidité ambiante peut réduire considérablement l'efficacité des poussières déshydratantes (Ranabhat et Wang 2020). Enfin, en raison de leur mécanisme d'action, la résistance physiologique des punaises à ces substances devrait être moindre que la résistance aux insecticides de synthèse. Cependant, certains mécanismes de résistance, tels que l'épaississement cuticulaire, peuvent limiter l'efficacité des poussières déshydratantes, qui ciblent la cuticule de la punaise de lit (Lilly, Webb, et Doggett 2016).

En France, le produit biocide MITE-KILLER à base de dioxyde silice synthétique possède une AMM pour un usage contre les punaises de lit (<https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-products/-/disbp/factsheet/FR-0013670-0000/authorisationid>). D'autres produits biocides à base de dioxyde de silice sont en cours d'évaluation.

7.3.2.3 Effets indésirables des silicates

La silice cristalline (ou dioxyde de silicium cristallin) est classée comme cancérogène pour l'être humain (groupe 1) par le Circ⁶⁴ et au niveau européen (directive européenne 2017/2398).

⁶⁴ Centre international de recherche sur le cancer (agence intergouvernementale créée par l'OMS)

Après inhalation, elles s'accumulent dans les voies respiratoires et les ganglions lymphatiques et ne sont pas éliminées du corps. Certaines études alertent sur le fait que l'exposition répétée à la terre de diatomées (ou sel de Kieselguhr, contenant une teneur élevée en silice cristalline), serait responsable de nombreuses maladies, dont la silicose, le cancer du poumon et les maladies respiratoires non malignes (Akhoundi, Bruel, et Izri 2019). Cependant, les produits insecticides autorisés au niveau européen ayant pour substance active la silice amorphe (naturelle ou synthétique) présentent des teneurs en silice cristalline toujours inférieures à 0,1 %. Ainsi, les dossiers d'évaluations des produits à base de silice naturelle⁶⁵ ou synthétique⁶⁶ montrent que l'utilisation en tant qu'insecticides de ces substances actives ne présente pas de risque pour l'être humain ou l'environnement dans le respect des conditions d'autorisation.

En se basant sur les articles disponibles dans la littérature, les experts qualifient :

(i) **l'efficacité** de l'utilisation de la terre de diatomées (sel de Kieselguhr) de « **moyenne** » avec un **niveau d'incertitude « faible »** ; et du dioxyde de silicium synthétique (silice amorphe en gel ou en poudre) de « **élevée** », avec un **niveau d'incertitude « faible »** ;

En se basant sur l'expertise terrain, les experts qualifient :

(ii) **l'applicabilité** de ces traitements de « **élevée** »,

(iii) le **risque pour la santé humaine** de « **moyen** », dans le respect des conditions d'utilisation des produits autorisés. Il est à rappeler que le traitement contre les punaises est appliqué à l'intérieur dans un espace confiné, ce qui augmente l'exposition des habitants aux produits utilisés. Il est également nécessaire de rester vigilant par rapport à l'exposition des animaux domestiques,

(iv) le risque pour l'environnement de « **faible** ».

7.3.3 Traitement par l'ozone gazeux

De par sa nature hautement oxydante, l'ozone gazeux est souvent utilisé comme désinfectant⁶⁷ dans les hôpitaux ou en tant qu'agent antimicrobien dans le traitement de l'eau potable.

Pour déterminer l'efficacité de l'ozone dans la lutte contre les punaises de lit, Feston et al. (2020) ont caractérisé sa toxicité pour les différents stades de vie de *C. lectularius* (œufs, larves et adultes), dans les conditions de laboratoire. Plusieurs combinaisons de concentrations en ozone et de temps d'exposition ont été testées sur une souche d'élevage de *C. lectularius* sensible aux insecticides et qui n'a pas été exposée au préalable à l'ozone. D'après cette étude, les larves et les adultes étaient plus sensibles à l'ozone que les œufs, avec des CL50 (exprimées par le produit de la concentration d'ozone (C) en ppm par le temps d'exposition (T) en min ; ou CT) de 106 228, 128 036 et 253 947 ppm-min pour les larves, les

⁶⁵ <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-active-substances/-/disas/factsheet/1377/PT18>

⁶⁶ <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-active-substances/-/disas/factsheet/1449/PT18> ; <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-active-substances/-/disas/factsheet/1378/PT18>

⁶⁷ L'ozone gazeux est une substance active soutenue au niveau européen pour des usages biocides de désinfection mais elle n'est pas soutenue en TP 18. Ainsi, au regard du Règlement Biocides, il n'est pas possible d'utiliser l'ozone en tant qu'insecticide.

adultes et les œufs, respectivement. Aussi, la mortalité de 100 % des larves et des adultes testés était atteinte à une concentration d'ozone de 1 500 ppm et un temps d'exposition de 180 min (soit une CT de 270 000 ppm-min), alors qu'une CT huit fois plus élevée est nécessaire pour achever les œufs (exposition à une concentration d'ozone de 850 ppm pendant 2 400 min). Ces concentrations sont très élevées par rapport aux concentrations létales d'autres insecticides. À titre de comparaison, la vapeur de Dichlorvos (DDVP)⁶⁸, un fumigant neurotoxique, était de 2 070, 2 542 et 450 fois plus toxique que l'ozone, pour les larves, les adultes et les œufs de la même souche, respectivement (e.g., 100 % de mortalité des larves a été observée à une concentration de DDVP de 0,066 ppm et un temps d'exposition de 1 440 min) (Feston et al. 2020).

Les résultats de cette étude montrent que des concentrations élevées et des longues durées d'exposition sont nécessaires pour éliminer les différents stades de développement de *C. lectularius*, en particulier les œufs. D'un point de vue pratique, l'utilisation de l'ozone pour traiter un habitat infesté (appartement, chambre d'hôtel ou maison individuelle) s'avère compliquée d'après les auteurs de cette étude : d'une part à cause des limitations logistiques associées à la production et au maintien de fortes concentrations d'ozone dans l'habitat infesté (utilisation des générateurs d'ozone puissants, isolation de la zone à traiter sous une tente hermétique, coût élevé) et d'autre part à cause des effets néfastes (effet sur le système respiratoire) causés par l'exposition éventuelle des professionnels à l'ozone ou en cas de fuite d'ozone à l'environnement voisin suite à la mauvaise isolation de l'habitat traité. Ainsi, de telles concentrations sont susceptibles d'oxyder le plastique et le caoutchouc ou les plantes présentes dans l'habitat à traiter.

Néanmoins, les auteurs considèrent que l'utilisation de concentrations d'ozone plus faibles (50–80 ppm) dans une chambre d'ozonation portable en combinaison avec de longues durées d'exposition (> 48 h ou 2 jours) pourrait constituer une solution pratique pour traiter des objets infestés par *C. lectularius*, notamment dans les hôpitaux où l'utilisation de pesticides est largement limitée (ex : pour traiter des meubles, des matelas, des livres...) (Feston et al. 2020). Cependant, la durée et le coût du traitement pourraient limiter l'adoption de cette technique par des professionnels de désinsectisation.

D'après les données disponibles, les experts du GT considèrent que **le traitement par l'ozone gazeux est une méthode de lutte difficile à transposer sur le terrain à causes des limitations logistiques (production et maintien de fortes concentrations d'ozone, mesures de sécurité et coût)**. Des études supplémentaires, au laboratoire et sur le terrain, sont indispensables pour mieux caractériser la toxicité de l'ozone pour les punaises de lit. Aussi, l'efficacité des chambres à ozone portables devrait être vérifiée par des études complémentaires. Par ailleurs, cette utilisation entre dans le champ de la réglementation biocide et doit donc être réglementée en tant que telle, ce qui permettra notamment d'évaluer l'impact potentiel de l'utilisation de l'ozone sur la santé des professionnels de désinsectisation.

Les experts qualifient :

- (i) **l'efficacité** de cette méthode de « **faible** » avec un **niveau d'incertitude « moyen »**,
- (ii) **l'applicabilité** de ces méthodes de « **faible** »,
- (iii) le **risque pour la santé humaine** de « **élevé** »,
- (iv) le **risque pour l'environnement** de « **élevé** ».

⁶⁸ Le Dichlorvos est interdit en Europe en application de la réglementation européenne sur les biocides.

7.3.4 Les répulsifs

Selon les critères d'inclusion développés au § 2.1.1, sept articles portant sur l'usage des répulsifs contre les punaises de lit (Anderson et al. 2018 ; Krüger, Schmolz, et Vander Pan 2021 ; Sharififard et al. 2018 ; Shi et al. 2021 ; Wang et al. 2013 ; Yturralde et Hofstetter 2012 ; Zhu et al. 2018).

Un répulsif doit bloquer une punaise soit en recherche d'un repas, soit en recherche d'une zone de repos. Seule l'étude de Krüger, Schmolz, et Vander Pan (2021), étudie bien ces deux approches et montre qu'il est plus difficile de bloquer une punaise en recherche d'un repas, qu'en recherche d'un lieu de repos.

Une question majeure par rapport aux répulsifs est leur mode d'action (e.g., blocage de l'olfaction, détection et évitement, effet insecticide, etc.), lequel reste encore inconnu pour la plupart des produits et pour la plupart des insectes (Leal 2014; DeGennaro 2015), y compris les moustiques, cible majeure de la protection personnelle contre les piqûres. Il est alors extrêmement difficile d'extrapoler des résultats d'efficacité répulsive d'une espèce à l'autre. Par ailleurs, les résultats des tests de répulsion sont parfois contradictoires.

Les répulsifs peuvent être appliqués sur la peau et/ou sur des matériaux :

Pour les répulsifs cutanés, les sept études sélectionnées par le GT n'ont évalué leur efficacité que dans des conditions expérimentales (boites de Pétri, chambres ou matériels adaptés) en comparant le taux de fuite après exposition à des produits de référence (comme le DEET (N,N-diéthyl-3-méthylbenzamide), DMP (Diméthylphthalate), l'icaridine, la permethrine) à divers autres : huile essentielle de cannelle, extrait de Margosa margosa (Krüger, Schmolz, et Vander Pan 2021), huile essentielle de cataire (herbe à chat) (Shi et al. 2021), huile de coco (Zhu et al. 2018), huile d'Origan (Sharififard et al. 2018). L'efficacité des produits testés est variable selon la concentration appliquée sur le support, de même que la durée de l'action répulsive expérimentale qui diminuerait après 10 à 24 h pour les produits les plus efficaces (DMP, icaridine, permethrine permethrine) et serait de plusieurs jours pour l'huile de coco (Krüger, Schmolz, et Vander Pan 2021, Zhu et al. 2018). Aucune de ces sept études n'a porté sur la sécurité de l'application cutanée des produits testés d'origine naturelle contenant des molécules pouvant être toxiques (irritantes, sensibilisantes), en dehors de l'huile de coco dont l'usage cosmétique est bien connu (Burnett et al. 2011).

Pour les produits à appliquer spécifiquement sur des supports notamment la para-menthane-3,8-diol (Anderson et al. 2018), isolongifolanone et l'iso-longifolénone (Wang et al. 2013), il a été observé un effet répulsif du para-menthane-3,8-diol allant jusqu'à 276 jours (Anderson et al. 2018).

Un cas particulier de cette démarche répulsive est la création d'une zone d'inhospitalité par l'émission d'ultra-sons (Yturralde et Hofstetter 2012). Cet outil n'a montré aucune efficacité pour quatre produits commerciaux, ceci à différentes fréquences.

Conclusion du GT sur l'utilisation des répulsifs :

Se protéger personnellement contre les piqûres de punaises de lit ou protéger une zone d'hébergement contre les punaises de lit ne peut pas être considéré comme un outil de lutte satisfaisant. L'utilisation d'un produit répulsif efficace peut même compliquer la lutte en augmentant la surface de répartition des punaises sur un site. L'approche « répulsive » doit être considérée comme une **prévention de la santé physique et mentale** des personnes concernées ou comme un **outil de protection d'une zone ou d'un objet**, afin que celui-ci ne

se transforme pas en un réservoir amplificateur ou transporteur de punaises, ou encore comme un outil de prévention transitoire (pour éviter les piqûres dans un lieu de séjour par exemple).

Il est à noter que certaines substances actives testées ne sont pas soutenues dans le cadre de la réglementation biocide et donc sont interdites en Europe. Par ailleurs, à ce jour, aucun produit répulsif bénéficiant d'une AMM ne revendique une activité répulsive contre les punaises de lit.

7.4 Synthèse de l'efficacité et de l'applicabilité des différentes méthodes de lutte

Le Tableau 18 suivant synthétise l'évaluation réalisée par les experts du GT de l'efficacité (basée sur la littérature), de l'applicabilité et des risques pour la santé humaine et pour l'environnement (basée sur l'expertise de terrain des experts du GT) pour chaque méthode de lutte.

Il est à noter que les preuves concernant l'efficacité de la plupart de ces méthodes sont généralement insuffisantes voire absentes (incertitude « moyenne » ou « élevée »), et que des travaux de recherche complémentaires sont nécessaires pour mieux caractériser l'efficacité des méthodes utilisées dans la lutte contre les punaises de lit. Toutefois, l'efficacité de plusieurs méthodes de lutte a été qualifiée d'« élevée » en se basant sur les résultats d'études disponibles dans littérature.

Deux méthodes de lutte avec une efficacité élevée ont été identifiées comme pouvant être utilisées à l'échelle d'une pièce ou d'un logement, les traitements par le dioxyde de silicium synthétique (silice amorphe en gel ou en poudre) et par la chaleur sèche. Les traitements par le dioxyde de silicium synthétique ont une applicabilité « élevée », cependant, le risque pour la santé humaine lié à leur utilisation a été qualifié de « moyen » par les experts. Les traitements par la chaleur sèche ont une applicabilité « moyenne » car leur utilisation à l'échelle d'une pièce ou d'un logement nécessite l'intervention de professionnels utilisant des appareils adaptés. L'applicabilité de cette méthode par les particuliers reste à démontrer.

Il ressort de cette analyse qu'aucune méthode ne peut être efficace à elle seule pour éliminer les punaises de lit d'un habitat infesté. Il faut considérer toutes ces méthodes comme constituant un panel d'outils à utiliser d'une manière adaptée selon les objets infestés et le niveau d'infestation de l'habitat.

Tableau 18 : Résultats de l'évaluation par les experts du GT de l'efficacité, de l'applicabilité et des risques pour la santé humaine et pour l'environnement pour chaque méthode de lutte

Méthode de lutte		Efficacité (mortalité des punaises induite par le traitement)	Niveau d'incertitude (sur l'évaluation de l'efficacité)	Applicabilité	Risque pour la santé humaine	Risque pour l'environnement	Limites de la méthode
Physique	Chaleur sèche	Élevée	Faible	Moyenne* Applicable par des professionnels utilisant des appareils adaptés pour des objets infestés et les habitats. L'applicabilité de cette méthode pour les particuliers reste à démontrer)	Faible* Risque secondaire lié à l'inhalation des aérosols	Faible* Possible altération de l'objet, voire incendie en cas de non-respect des mesures de sécurité	- Nécessité d'avoir du matériel adapté - Les habitats doivent supporter une température de 60°C (ou supérieur à 46°C pour les petits objets ou des surfaces non protégées) - L'important est d'atteindre une température létale à cœur. La durée de traitement est par conséquent à ajuster en fonction de l'environnement
	Traitement à la vapeur (chaleur humide ou sèche)	Élevée	Faible	Moyenne* Il est délicat de cibler tous les lieux de repos des punaises dans une pièce infestée	Négligeable*	Moyen* possible altération de l'objet traité	- Nécessité d'avoir du matériel adapté - Rigueur indispensable dans l'application de la vapeur
	Congélation	Élevée	Faible	Moyenne* Applicable pour des vêtements ou de petits objets, voire des meubles en chambre froide	Négligeable*	Négligeable*	- L'important est d'atteindre une température létale à cœur. La durée de traitement est par conséquent à ajuster en fonction de l'environnement
	Cryonite®	Faible*	Élevé	Faible*	Moyen* Brûlure et risque d'intoxication par le CO ₂ relâché en milieu clos	Négligeable*	- Limites logistiques (liées à la mise en œuvre)
	Lavage du linge en machine à 60°C	Élevée	Élevé	Moyenne* Applicabilité réservée à la décontamination du linge	Négligeable*	Négligeable*	- Risque de dissémination des punaises si transport du linge dans de mauvaises conditions - Possible altération du linge
	Séchage du linge à plus de 40° C et pendant 30 min	Élevée	Élevé	Moyenne* Applicabilité réservée à la décontamination du linge	Négligeable*	Négligeable*	- Risque de dissémination des punaises si transport du linge dans de mauvaises conditions
	Trempage du linge à froid (15°C) de 24h	Faible	Élevé	Moyenne* Applicabilité réservée à la décontamination du linge	Négligeable*	Négligeable*	- Aucune

Méthode de lutte		Efficacité (mortalité des punaises induite par le traitement)	Niveau d'incertitude (sur l'évaluation de l'efficacité)	Applicabilité	Risque pour la santé humaine	Risque pour l'environnement	Limites de la méthode
	Nettoyage du linge à sec avec du perchloroéthylène	Élevée	Élevé	Moyenne* Applicabilité réservée à la décontamination du linge	Élevé*	Élevé*	- Toxicité du perchloroéthylène - Risque de dissémination des punaises si transport du linge dans de mauvaises conditions
	Traitement par le vide ou par anoxie	Élevée	Élevé	Faible*	Faible*	Négligeable*	- La mise en œuvre nécessite des conditions de sécurité élevées - Le vide, pour supprimer l'oxygène, est complexe à obtenir
	Saturation de l'atmosphère en CO ₂	Élevée	Élevé	Faible*	Élevé* Risque d'asphyxie	Négligeable*	- La mise en œuvre nécessite des conditions de sécurité élevées
	Nettoyage (aspiration, brossage)	Moyenne*	Élevé	Élevée* Applicable dans tous les habitats infestés	Négligeable*	Négligeable*	- Risque de dispersion de l'infestation - Nécessite une mise en œuvre rigoureuse
	Suppression des objets infestés	Moyenne*	Élevé	Élevée* Applicable dans tous les habitats infestés	Négligeable*	Moyen* Source de contamination d'autres sites	- Méthode à adapter en fonction du niveau de délabrement de l'objet infesté
	Pièges couplés aux attractants	Faible	Élevé	Élevée* Applicable dans tous les habitats infestés	Négligeable*	Négligeable*	- Outils mieux adaptés à la surveillance des infestations
Biologique	Utilisation des bactéries ou des champignons entomopathogènes	Faible à Élevée (selon l'agent entomopathogène utilisé)	Moyen	Faible*	Données insuffisantes sur le risque pour la santé humaine	Données insuffisantes sur le risque pour l'environnement	- Difficultés de mise en œuvre sur le terrain (e.g., contrôle de la température et le taux d'humidité dans une pièce pour optimiser l'action de produits) - À l'heure actuelle aucune demande d'AMM n'a été déposée pour des produits à base de <i>Bacillus thuriengensis israelensis</i> destinés à la lutte contre les punaises de lit. De plus, aucun produit à base de <i>Bauvaria bassiana</i> ne peut être commercialisé en Europe (<i>Bauvaria bassiana</i> n'a pas fait l'objet d'une demande d'approbation en tant que substance active biocide)

Méthode de lutte		Efficacité (mortalité des punaises induite par le traitement)	Niveau d'incertitude (sur l'évaluation de l'efficacité)	Applicabilité	Risque pour la santé humaine	Risque pour l'environnement	Limites de la méthode
Chimique	Insecticides chimiques	Voir les rapports d'évaluation des substances actives biocides approuvées et des produits autorisés sur le site de l'ECHA		Élevée* Applicables dans tous les habitats infestés	Élevé* en cas de non-respect des conditions d'utilisation imposées dans les AMM	Élevé* en cas de non-respect des conditions d'utilisation imposées dans les AMM	- Toxicité des produits utilisés à l'intérieur des logements pour l'être humain et les espèces non cibles, en cas de non-respect des conditions d'utilisation imposées dans les AMM - Résistances aux insecticides
	Terre de diatomées (sel de Kieselguhr)	Moyenne	Faible	Élevée* Applicables dans tous les habitats infestés	Moyen*	Faible*	- Toxicité des produits utilisés à l'intérieur des logements pour l'être humain et les espèces non cibles, en cas de non-respect des conditions d'utilisation imposées dans les AMM
	Dioxyde de silicium synthétique (silice amorphe en gel ou en poudre)	Élevée	Faible	Élevée* Applicables dans tous les habitats infestés	Moyen*	Faible*	- Toxicité des produits utilisés à l'intérieur des logements pour l'être humain et les espèces non cibles, en cas de non-respect des conditions d'utilisation imposées dans les AMM
	Ozone gazeux	Faible	Moyen	Faible*	Élevé*	Élevé*	- Difficile à transposer sur le terrain à cause des limitations logistiques (production et maintien de fortes concentrations d'ozone, mesures de sécurité) - Au regard du Règlement Biocides, il n'est pas possible d'utiliser l'ozone en tant qu'insecticide

* Evaluation fondée sur l'expertise de terrain des experts du GT

7.5 Gestion intégrée des infestations - IPM (*Integrated Pest Management*)

La gestion intégrée des infestations par les punaises de lit vise à améliorer l'efficacité de la lutte en diminuant l'utilisation d'insecticides chimiques et leurs impacts sur la santé des êtres humains et de l'environnement, ainsi que le coût associé aux traitements et les risques d'apparition de résistance. Elle consiste en la mise en œuvre simultanée de méthodes physiques et/ou chimiques permettant d'éliminer les punaises de lit de manière efficace. Concernant les logements collectifs, la gestion intégrée implique la responsabilité de différents acteurs : les gestionnaires, les gardiens, les résidents/locataires et les entreprises en charge du traitement.

La recherche bibliographique menée par le GT a permis d'identifier neuf articles portant sur la gestion intégrée des infestations par les punaises de lit. La typologie de ces articles est présentée dans le Tableau 19. Les études analysées sont exclusivement des études de terrain, effectuées aux États-Unis; elles considèrent toutes l'espèce *C. lectularius*, sauf une qui considère l'espèce *C. hemipterus*, et sont réalisées en logement occupé. Dans ces conditions environnementales现实的, tous les stades de développement de l'insecte sont généralement pris en compte. Les niveaux d'infestation des logements sont qualitativement évalués par inspection visuelle et/ou quantitativement à l'aide de pièges placés aux pieds des lits et canapés. Les paramètres tels que l'encombrement, la salubrité du logement, la nature des meubles, les matériaux ou encore le nombre d'occupants ne sont jamais pris en compte et décrits (tout du moins pas explicitement dans les cas considérés). Il est par conséquent difficile de parler de répliques à proprement parlé dans les expériences menées dans ces études terrain.

Tableau 19 : Typologie des articles sélectionnés dans le cadre de la revue systématique sur les méthodes de lutte et portant sur la gestion intégrée des infestations par les punaises de lit

Méthodes de lutte	Espèce cible	Références
Gestion intégrée des infestations	<i>C. lectularius</i>	Wang, Gibb, et Bennett (2009) Wang et al. (2012) Stedfast et Miller (2014) Bennett et al. (2016) Cooper, Wang, et Singh (2016b) Singh et al. (2017) Wang et al. (2019) Abbar, Wang, et Cooper (2020)
	<i>C. hemipterus</i>	Kong et al. (2022)

Wang et al. (2012) ont comparé trois stratégies de lutte (physique, chimique ou gestion intégrée : physique et chimique). La lutte physique comprend le retrait manuel et le traitement thermique vapeur, ainsi que l'emploi de housses de protection pour matelas/sommier. Le traitement chimique consiste en la vaporisation d'insecticides (Spray 0,075 % Temprid SC®

(imidaclopride+ cyfluthrine) + Tempo dust® (cyfluthrine 1 %) ou de terre de diatomées). Enfin l'approche intégrée comprend les actions physiques et chimiques décrites précédemment. Le suivi a été réalisé tous les quinze jours ou tous les mois, en fonction du niveau d'infestation. Lorsque les niveaux d'infestation sont faibles, la méthode physique semble suffisante et économique. L'emploi d'insecticides uniquement et la gestion intégrée donnent des résultats semblables après 10 semaines. Quelles que soient les stratégies de traitement utilisées, le succès de la réduction des populations de punaises de lit, voire leur éradication, sont étroitement liés à la coopération des résidents, et dépend également de la minutie dans la réalisation du traitement par les prestataires de services.

L'évaluation du coût et de l'efficacité de deux stratégies de lutte utilisant la terre de diatomée et le Chlorfénapyr couplés au traitement des matelas, au traitement du linge et à l'utilisation de la vapeur, avec/sans pièges à punaises de lit, a été étudié par Wang, Gibb, et Bennett (2009). L'étude a été réalisée dans 16 appartements de type T1 situés dans un immeuble de 225 logements occupés par des personnes à faible revenu ou handicapées. Ils ont mis en évidence l'efficacité de pièges pour la détection d'une part, et la réduction du nombre de punaises de lit d'autre part. Les systèmes de piégeage disposés aux pieds des meubles de repos permettent systématiquement de détecter des quantités de punaises de lit plus importantes que lors d'une inspection visuelle. Dans cette étude, après 10 semaines de lutte/traitement, les punaises de lit n'ont été éradiquées que dans 50 % des appartements infestés. Aucune conclusion relative à l'efficacité de la terre de diatomées par rapport au chlorfénapyr n'a pu être avancée. Les auteurs concluent que la gestion des infestations de punaises de lit est difficile et coûteuse. L'implication des locataires dans la lutte est essentielle. Par conséquent, pour une gestion efficace de l'infestation, celle-ci doit inclure l'éducation, la motivation, l'adhésion des locataires et leur participation active et efficace.

Abbar, Wang, et Cooper (2020) ont évalué l'efficacité de l'utilisation d'un gel de silice (CimeXa® dust, Rockwell Labs Ltd, North Kansas City, MO, USA) en complément d'une approche physique (aspiration, emballage de la literie, lavage du linge, traitement à la vapeur et pièges passifs). Le gel de silice consiste en une poussière de SiO₂ aux propriétés dessicantes. Avant la mise en place des pièges (contenant ou non du gel de silice) aux pieds des lits et des canapés, les meubles infestés ont été traités à la vapeur et/ou aspirés. Après 6 mois de lutte, les résultats indiquent que le traitement physique en présence de gel de silice a entraîné une réduction plus élevée du nombre de punaises de lit que le traitement physique seul. Les punaises de lit ont été éradiquées dans 40 % des appartements ayant subi un traitement physique avec des pièges contenant du gel de silice, contre 36 % de ceux ayant subi seulement un traitement physique. La méthode physique couplée à l'utilisation de la poussière de gel de silice peut être plus efficaces pour réduire le nombre de punaises de lit. Cependant, la complexité des meubles infestés et l'encombrement des aires de sommeil et de repos peuvent créer des refuges pour les punaises de lit, retardant ainsi l'élimination de plusieurs mois. Enfin, le manque de collaboration des occupants peut conduire à l'échec de la méthode physique.

Cooper, Wang, et Singh (2016b) proposent un programme de gestion intégrée des infestations par les punaises de lit, qui est efficace, économique et facile à mettre en œuvre dans les logements sociaux collectifs qui souffrent d'infestations chroniques. Ce programme est basé sur : l'éducation des résidents, le passage de l'aspirateur, l'emballage de la literie, le lavage du linge, le traitement à la vapeur, le déploiement de pièges passifs et l'utilisation de deux insecticides : MotherEarth® D (100% terre de diatomées) et Phantom® Aerosol (0,5 % chlorfénapyr). L'évaluation de ce programme a montré que la déclaration des infestations par

les résidents n'est pas fiable. Le protocole n'aurait pas été aussi efficace sans le dévouement d'un technicien qui l'a mis en œuvre en interne. Les prestataires externes de lutte antiparasitaire peuvent manquer de dévouement et d'attention qui sont des facteurs garants du succès de la lutte. L'éducation des résidents permet une meilleure coopération de ceux-ci et la formation continue des personnels intervenants, ainsi que leur engagement sont également des leviers qui contribuent à la réussite des traitements mis en œuvre. En conclusion, adopter un programme de lutte contre les punaises de lit qui intègre une surveillance proactive et des traitements bi-hebdomadaires des appartements infestés utilisant des méthodes non chimiques et chimiques peut permettre de lutter efficacement contre les punaises de lit.

En Virginie, Stedfast et Miller (2014), ont également développé et évalué un programme de suppression proactive des punaises de lit pour les logements sociaux collectifs et ont assuré son suivi durant trois ans. Ce programme comprend l'utilisation d'une chambre chaude, du sèche-linge, le déploiement de pièges passifs, l'enveloppement des matelas et sommiers avec des housses anti-punaises, le passage de l'aspirateur et la sensibilisation/formation des résidents et du personnel intervenant. Au terme de l'étude, le nombre d'infestations a diminué et les coûts associés aux traitements contre les punaises de lit ont été réduits. Le ressenti des résidents concernant ce programme de suppression des punaises de lit a été évalué à l'aide d'enquêtes en face à face. Ils ont exprimé leur satisfaction et soulagement par rapport aux mesures proactives de gestion des punaises de lit mises en place.

Singh et al. (2017) ont évalué une approche de gestion basée sur l'évaluation du niveau d'infestation, dans le but de réduire l'utilisation d'insecticides. L'étude s'est déroulée dans une résidence pour seniors et a concerné au total 32 appartements. Les niveaux d'infestation ont été évalués par inspection visuelle et via des pièges ClimbUp®. La gestion intégrée comprenait un traitement mécanique (retrait manuel des punaises, housses de protection pour matelas) et thermique (vapeur) des meubles de sommeil et de leurs abords, le lavage du linge de lit dans 8 appartements, ainsi que la mise en place et la surveillance régulière par des pièges passifs ; elle fut complétée par la pulvérisation de produits insecticides sur les meubles et matériaux (acetamiprid et bifenthrin/zeta-cyperméthrin) et de poudre insecticide (zeta-cyperméthrin et piperonyl butoxide) aux niveaux des arrivées électriques (prises, interrupteurs) dans 7 autres appartements. Les logements contrôlés ont uniquement subi un traitement chimique. Les auteurs concluent qu'une gestion intégrée non chimique seule est suffisante pour éliminer rapidement les infestations dans les appartements présentant un faible niveau d'infestation. Pour les appartements présentant des niveaux d'infestation plus élevés, la combinaison de traitements non chimiques et chimiques a conduit à diminuer la quantité de produits insecticides employée de 58 %, comparé aux appartements ayant subi un traitement chimique seul.

Bennett et al. (2016) proposent une revue de la littérature des différentes techniques non chimiques et chimiques employées dans une gestion intégrée efficiente contre les punaises de lit. Un logigramme présenté dans la Figure 13, précise les différentes étapes essentielles à la gestion intégrée dans les logements collectifs. La première étape consiste en des actions pédagogiques de sensibilisation, des actions de préventions des différents acteurs (gestionnaires, résidents, personnels intervenants dans les lieux, etc.). La deuxième étape est relative à l'établissement du diagnostic d'une infestation effective par les punaises de lit ; puis les stratégies de traitements à mettre en œuvre sont établies dans la troisième étape, après évaluation du niveau d'infestation.

En cas de faible infestation, des méthodes de lutte non chimique plus respectueuses de l'environnement et n'ayant pas d'effet sanitaire sur l'être humain doivent être favorisées. Si l'infestation est intermédiaire ou majeure, un traitement chimique peut venir compléter les actions non chimiques. La surveillance post-remédiation dans les semaines et mois qui suivent la neutralisation de l'infestation est également essentielle après traitement. La 4^{ème} et ultime étape ancre la répétition d'actions de prévention dans le temps pour limiter la survenance de nouvelles infestations de lit.

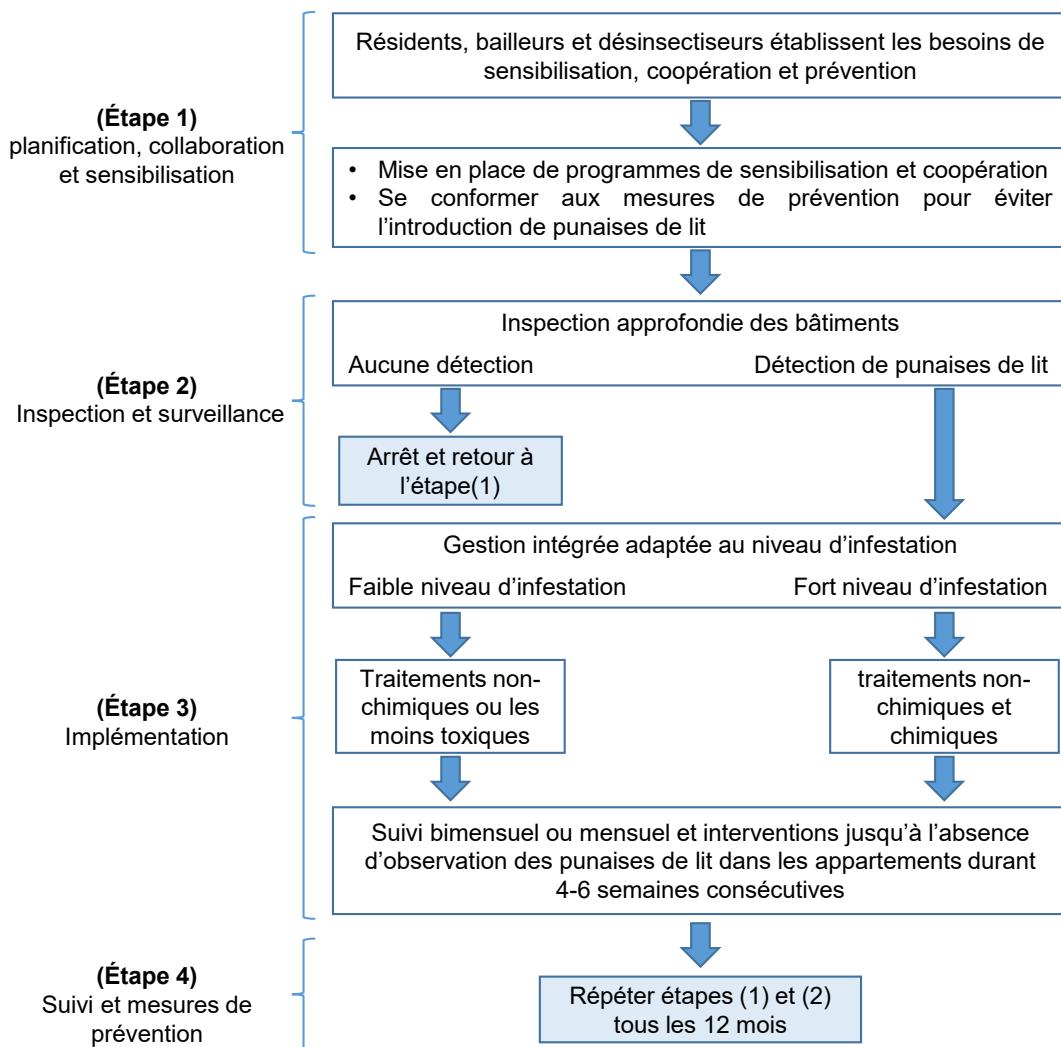


Figure 13 : Logigramme décisionnel de mise en œuvre d'un plan d'une gestion intégrée des infestations par les punaises de lit dans les logements collectifs (d'après Bennett et al. (2016)).

Aux États-Unis, les logements collectifs et particulièrement les logements sociaux semblent constituer des réservoirs de punaises de lit, car les populations qui occupent ces logements ne sont pas suffisamment informées et ne disposent pas de moyens économiques suffisants pour neutraliser les infestations. Par conséquent, la gestion des infestations de punaises de lit devrait être une préoccupation majeure des gestionnaires de parcs sociaux.

Comme l'indique le papier de Wang et al. (2019), les programmes de gestion intégrée semblent plus efficaces que les actions conventionnelles menées par le service de lutte antiparasitaire afin de réduire les infestations de blattes germaniques et de punaises de lit. Cependant, le coût associé à la mise en œuvre d'une gestion intégrée est plus élevé que celui

de mise en œuvre des services de lutte antiparasitaire. De nouvelles recherches permettraient de développer des méthodes pour améliorer l'adoption des programmes IPM par les communautés à faible revenu qui occupent les logements collectifs.

Une seule étude de cas, réalisée par Kong et al. (2022), porte sur l'espèce *C. hemipterus*. Elle a eu pour objectif de déterminer l'efficacité d'une lutte combinant un traitement à la vapeur, l'emploi de terre de diatomée et de pièges ClimbUp® pour supprimer cette espèce tropicale de punaises dans 25 des 100 chambres infestées occupées d'une résidence pour travailleurs à Guangzhou en Chine. Après 14 semaines de traitement, les infestations ont diminué pour 94,1 % des logements et ont été stoppées dans 44 % des cas. Les auteurs concluent que le déploiement de cette combinaison de traitements est une stratégie efficace pour lutter contre la punaise de lit « tropicale ».

Points de vigilance concernant les différentes études présentées dans la section 7.5 :

- Certains insecticides utilisés dans la lutte contre les punaises de lit aux États-Unis ne sont pas autorisés en France, voire en Europe.
- La terre de diatomée est un produit abrasif et l'inhalation de celui-ci peut altérer la santé respiratoire des personnes qui sont exposées (voir section 7.3.2.3).

Les stratégies de gestion intégrée combinant à la fois des actions mécaniques, thermiques et/ou chimiques sont efficaces pour éradiquer les populations de punaises de lit dans les logements collectifs. **Lorsque les infestations sont modérées (mineures ou intermédiaires) la lutte mécanique et thermique peut suffire pour venir à bout des punaises de lit.** Cependant, quelles que soient les combinaisons de moyens de lutte déployées, cette gestion intégrée est dépendante de l'adhésion et de la coopération active de tous les acteurs impliqués dans la lutte (propriétaires, gestionnaires, occupants, etc.). Elle passe donc par l'éducation de l'ensemble des personnels et des victimes d'infestation concernant les traitements curatifs et les mesures préventives à mettre en œuvre pour éviter les récidives.

Le GT rappelle l'organisation d'une gestion intégrée des infestations (Figure 14) :

1. établir un diagnostic de certitude de la présence de punaises de lit ;
2. établir le niveau d'infestation de 1 à 6 ;
3. mettre en place une lutte mécanique et thermique :
 - a. ranger, laver, aspirer ;
 - b. utiliser une lutte par le chaud (chaleur sèche ou humide) ;
 - c. utiliser une lutte par le froid (pour le linge et les petits objets qui ne peuvent pas être lavés) ;
4. évaluer l'efficacité de cette lutte (réévaluer le niveau d'infestation). Éventuellement refaire une lutte proportionnelle et ciblée au niveau d'infestation restant ;
5. mettre en place une lutte chimique par un professionnel, en cas de persistance de l'infestation (voir la position divergente d'un expert du GT sur ce point en Annexe 13) ;
6. mettre en place des outils de prévention pour éviter d'éventuelles infestations ultérieures.

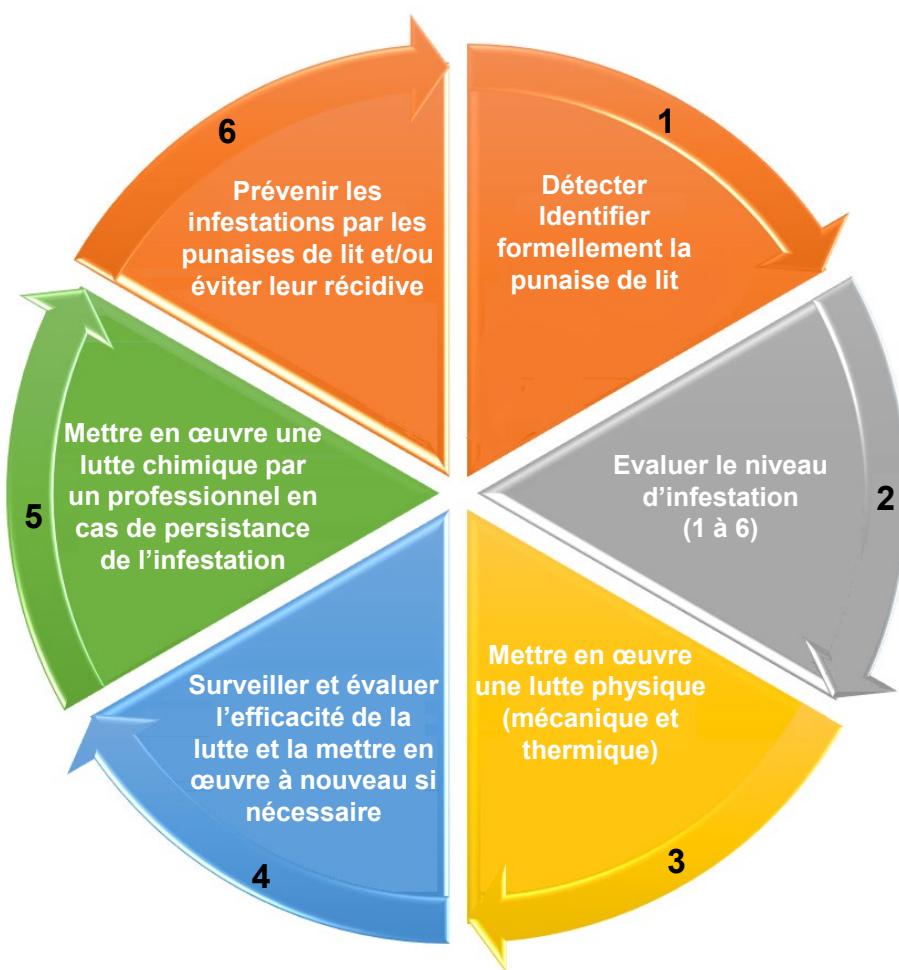


Figure 14 : Les six étapes d'une gestion intégrée des infestations par les punaises de lit

8 Étude de filière du service de désinsectisation

8.1 Actions mises en place pour se débarrasser des punaises de lit en France (en 2022)

Les données produites dans le cadre de l'enquête réalisée en population générale par le GT (voir section 2.3.1 pour une description détaillée de la méthode d'enquête) ont montré qu'après avoir fréquenté un lieu infesté (refuge, chambre d'hôtel, etc.), les répondants à l'enquête ont déclaré avoir mis en place plusieurs actions pour être certains de ne pas ramener de punaises de lit chez eux. Parmi ces actions, le nettoyage des affaires supposées infestées est le comportement le plus cité (47 % des répondants), puis vient l'utilisation d'un insecticide (41 % des répondants) et en troisième position les personnes évoquent la possibilité de se débarrasser des affaires infestées (30 % des répondants) (Figure 15).

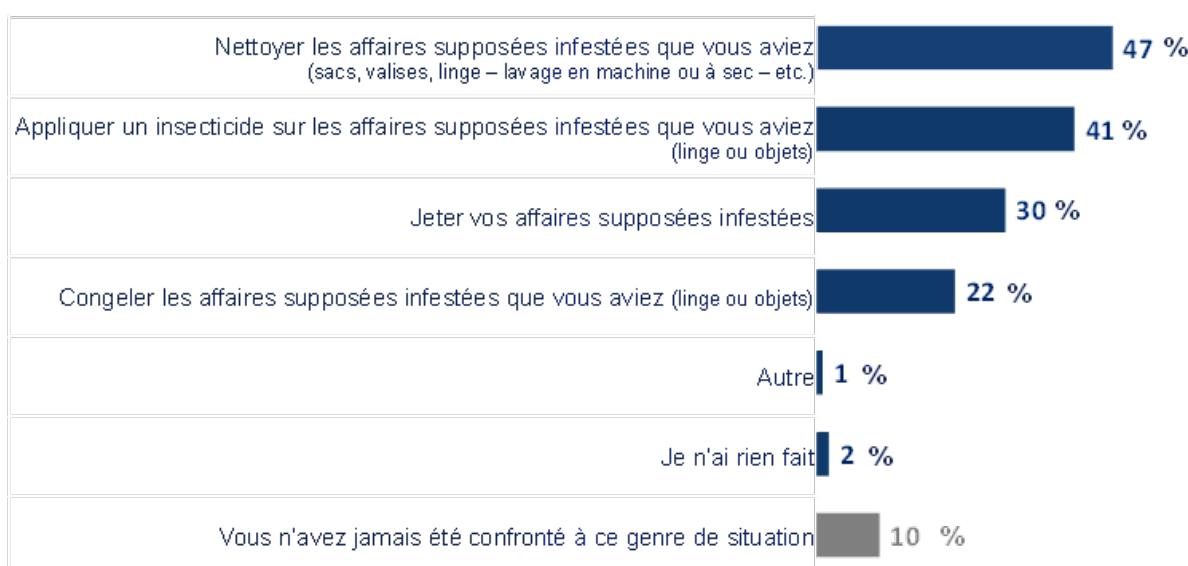


Figure 15 : Actions mises en place pour se débarrasser des punaises de lit après avoir fréquenté un lieu infesté ; n = 2 000 répondants. (Source : Enquête en population générale)
(la somme des pourcentages est supérieure à 100 car plusieurs réponses par répondant étaient possibles)

Parmi les français ayant été confrontés à une infestation de punaises de lit à leur domicile au cours des 5 dernières années (n = 630 répondants), 50 % déclarent avoir fait appel à un (ou des) professionnel(s) pour se débarrasser des punaises de lit. Aussi, le recours aux professionnels est plus important lorsque l'infestation est étendue. Lorsque des professionnels ont été mobilisés, le recours aux traitements insecticides est celui qui a été le plus activé (61 % des répondants), devant le rangement et le nettoyage de la maison et le traitement du linge (Figure 16).

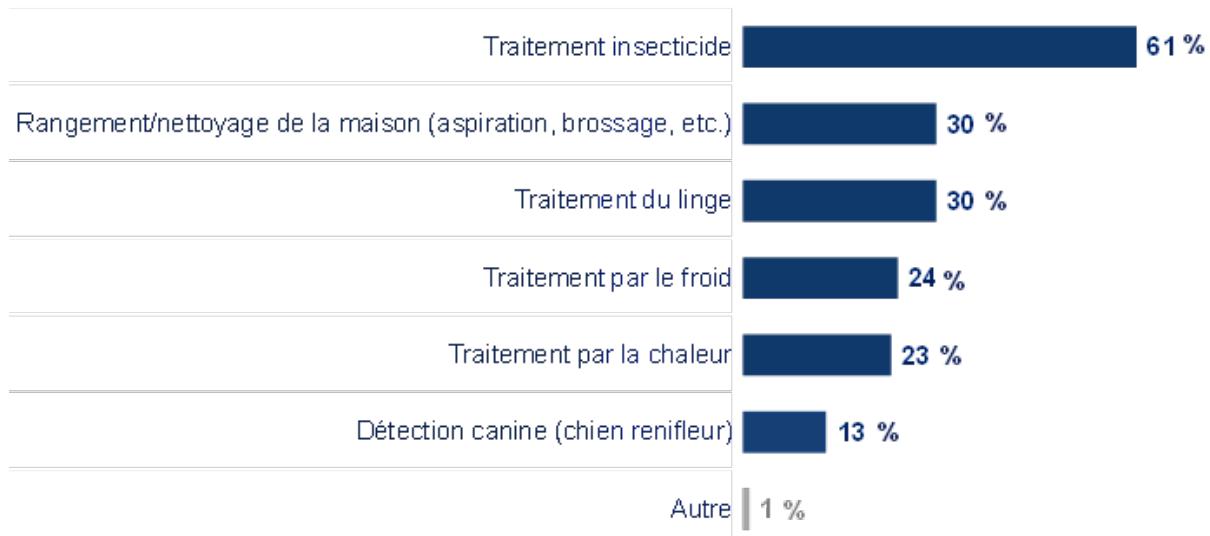


Figure 16 : Types de services professionnels mobilisés pour se débarrasser des punaises de lit ; n = 309 répondants. (Source : Enquête en population générale)

(la somme des pourcentages est supérieure à 100 car plusieurs réponses par répondant étaient possibles)

Ceux qui ont décidé de s'en débarrasser par leurs propres moyens déclarent principalement l'avoir fait en lavant leur linge (85 %), en rangeant/nettoyant leur maison (83 %) et en utilisant des insecticides (79 %). Les solutions activées sont toutefois multiples (

Figure 17).

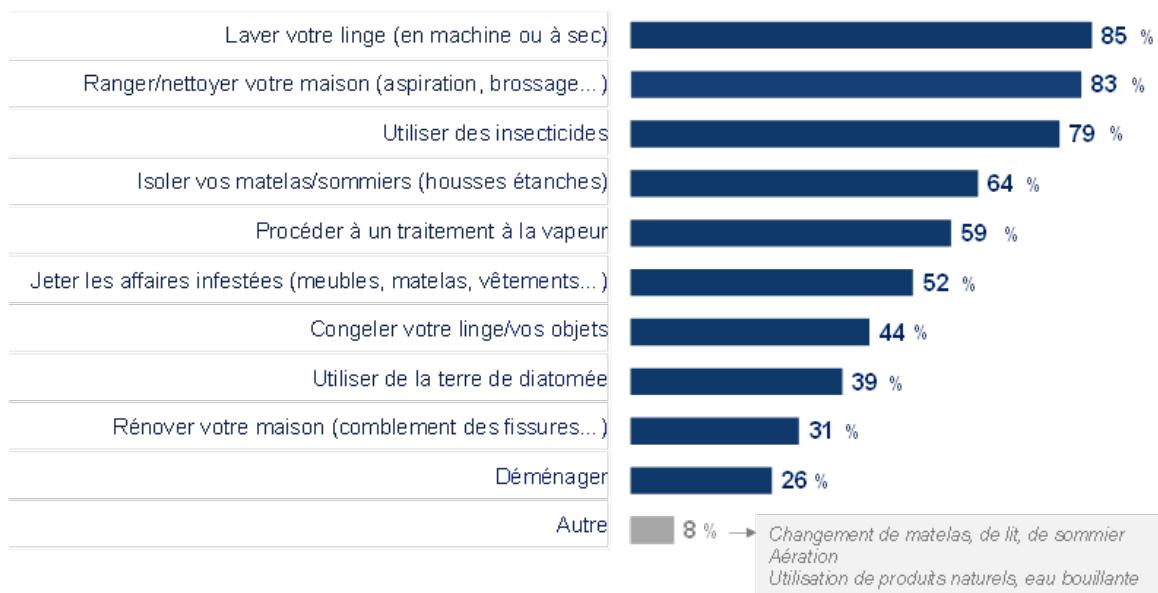


Figure 17 : Actions mises en place par les habitants pour se débarrasser des punaises de lit dans leurs domiciles ; n = 346 répondants. (Source : Enquête en population générale)

(la somme des pourcentages est supérieure à 100 car plusieurs réponses par répondant étaient possibles)

Par ailleurs, l'enquête menée par le GT auprès de l'USH a montré que parmi les 95 bailleurs sociaux ayant répondu à l'enquête, 32 % réalisent uniquement un traitement chimique dans

les logements infestés, tandis que les 68 % restant affirment combiner un traitement chimique avec un traitement mécanique (voir la note d'analyse des résultats de l'enquête menée ; Annexe 4).

Les résultats de ces deux enquêtes montrent que le recours aux insecticides constitue une solution de première intention chez les particuliers et les professionnels pour lutter contre les punaises de lit. Néanmoins, les experts du GT, rappellent que lorsque les infestations sont modérées (mineures ou intermédiaires) la lutte physique (mécanique et thermique) peut suffire pour venir à bout des punaises de lit.

8.2 L'offre de service de désinsectisation en France

L'offre de désinsectisation est difficilement séparable des autres activités de la branche Désinfection, Désinsectisation, Dératisation, plus communément nommée « branche 3D » (au sens de la nomenclature Insee, cf. infra section 8.2.1.3). En effet, en raison des données disponibles, les entreprises luttant contre les punaises de lit ne peuvent être traitées séparément de celles luttant seulement contre les autres nuisibles (ou nuisant) et plus généralement des entreprises ayant une autre activité 3D.

Toutefois, plusieurs activités peuvent être distinguées au sein de l'offre 3D. Premièrement, cette offre comprend une activité de prestation de service. Les entreprises proposant cette prestation dans la lutte contre les punaises de lit interviennent directement dans la lutte contre ces nuisibles par une activité de détection ou par une activité de traitement. Deuxièmement, l'offre comprend une activité de distribution. Les entreprises proposant ce service fournissent aux consommateurs les outils et produits pour lutter eux-mêmes contre les punaises de lit.

Dans cette section, les termes « experts, prestataires, professionnels et désinsectiseurs » sont utilisés sans distinction pour nommer les acteurs du marché de la désinsectisation ainsi que les termes « consommateur et client » et les termes « demandeur et client potentiel ».

8.2.1 Description et structure de l'offre de désinsectisation en France

Les données présentées ci-dessous sont issues du rapport de branche 3D du Xerfi portant sur des données de 2020 et publié en septembre 2021 (cité ci-après comme Xerfi specific 2021), ainsi que des auditions menées auprès d'acteurs du secteur, la Chambre Syndicale Dératisation Désinfection Désinsectisation (CS3D) et le prestataire Alpes Maritimes Insectes (AMI).

8.2.1.1 Nombre d'entreprises et évolution sur le territoire national

En 2016, 2 400 entreprises intervenaient sur le secteur de la 3D pour 769 millions d'euros (M€) de chiffre d'affaires (CA) en France métropolitaine mais seules 780 d'entre elles employaient au moins un salarié⁶⁹, soit 6 500 salariés et 624 millions d'euros de CA au 31 décembre 2016 (Xerfi specific 2021).

⁶⁹ Les 1 620 autres entreprises peuvent soit être des unités non employeuses (pas de salarié au cours de l'année de référence et pas d'effectif au 31/12), soit avoir zéro salarié (n'ayant pas d'effectif au 31/12 mais ayant employé des salariés au cours de l'année de référence).

Au 31 décembre 2020, 3 350 entreprises intervenaient sur le secteur de la désinfection pour 889 millions d'euros de CA, soit une augmentation de 39,6 % du nombre d'entreprises et de 15,6 % du CA (Xerfi specific 2021) (Figure 18).

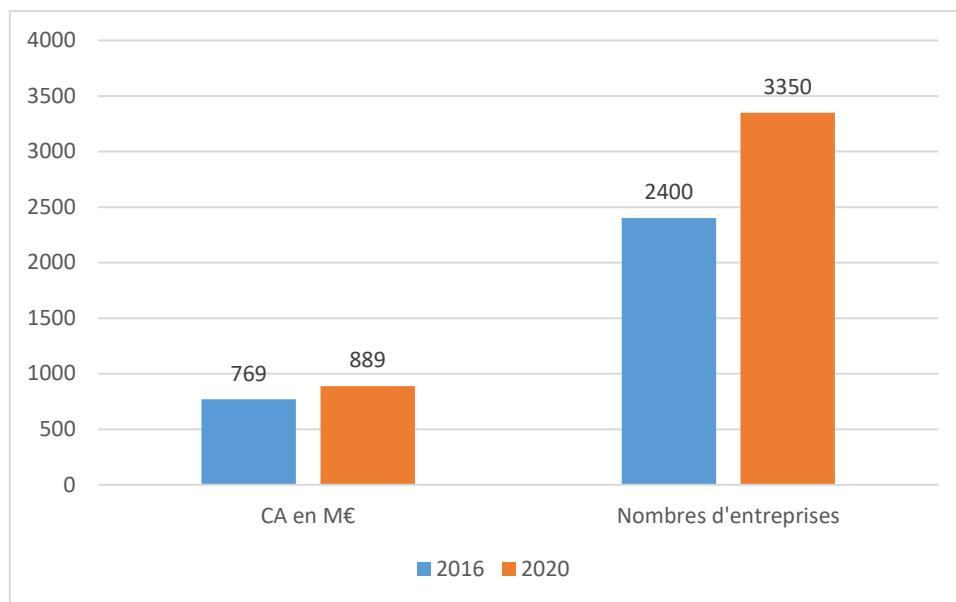


Figure 18 : Évolution du secteur de la 3D en France entre 2016 et 2020

(Source : Xerfi, 2021)

Parmi ces entreprises, 890 emploient au moins un salarié, soit une augmentation de 14 % par rapport à 2016. Ces dernières représentent 7 350 salariés, soit une augmentation de 13 %, et 717 millions d'euros de CA, soit une augmentation de 15 % (Figure 19). Ainsi, les augmentations du nombre d'entreprises, de salariés et de CA sont similaires.

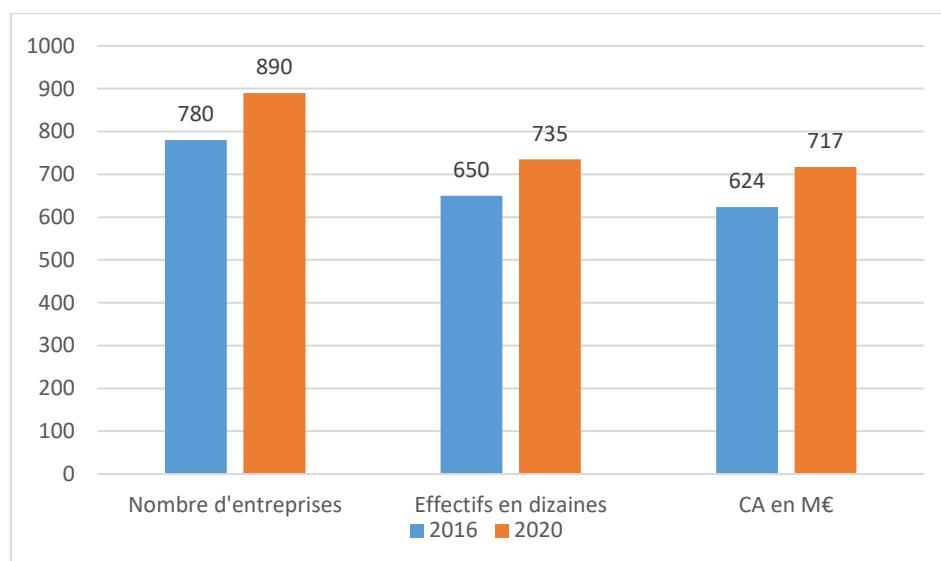


Figure 19 : Évolution des entreprises de la 3D ayant au moins un salarié en France

(Source : Xerfi, 2021)

Le développement de l'offre de ce service se perçoit également à travers l'âge des entreprises. En 2020, 52 % de ces dernières avaient été créées après 2010. Par ailleurs, 27 % avaient été créées entre 2000 et 2009, 7,5 % entre 1990 et 1999, 3,5 % entre 1980 et 1989 et enfin 10 % des entreprises avaient été créées avant 1980. L'âge moyen des entreprises sur ce marché est de 15,6 ans en 2022.

8.2.1.2 La taille des entreprises du marché de la désinsectisation

Les données présentées ici portent sur les entreprises de la branche 3D ayant au moins un salarié en 2020.

Parmi les 890 entreprises ayant au moins un salarié, 79,5 % sont de Très Petites Entreprises (TPE) avec moins de 9 salariés inclus (contre 88% en 2016), 19 % emploient entre 10 et 49 salariés inclus (contre 11 % en 2016) et 1,5 % ont plus de 50 salariés (contre 1 % en 2016). Les entreprises ont donc tendance à croître en taille avec le temps. Toutefois, il est à noter que 60 % des petites entreprises ont été créées après 2010 (Xerfi specific 2021). L'augmentation du nombre d'entreprises, la création récente de nombreuses TPE et la tendance à la croissance des plus anciennes peuvent laisser supposer une augmentation de la demande en France et la nécessité de répondre à une demande croissante pour le service de désinsectisation. Néanmoins, il est à noter que les entreprises de la branche 3D n'interviennent pas que sur les punaises de lit. Cette augmentation reflète une augmentation générale des nuisants dans laquelle intervient la punaise de lit.

Comme indiqué précédemment, le CA total des 890 entreprises s'élève à 717 millions d'euros. Il se répartit de la manière suivante : 42,5 % pour les entreprises de plus de 50 salariés (qui sont au nombre de 13 en 2021), 29 % pour celles ayant entre 10 et 49 salariés et 28,5 % pour les TPE (Figure 20).

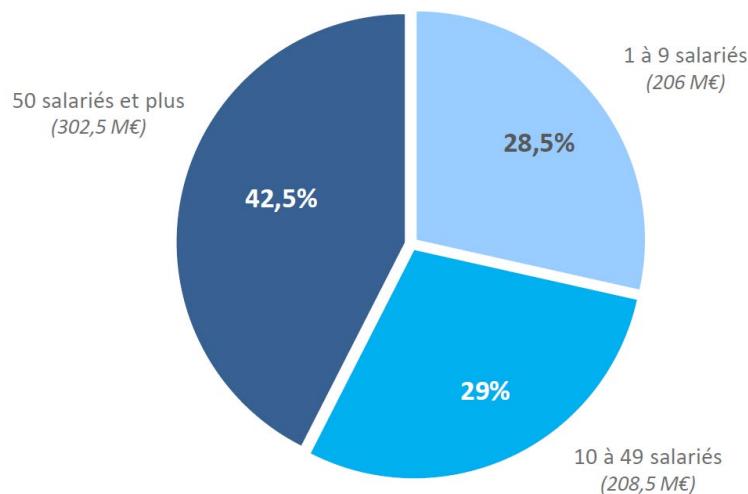


Figure 20 : Répartition du CA par taille des 890 entreprises de la désinsectisation ayant au moins un salarié en France

(Source : Xerfi, 2021)

8.2.1.3 L'activité principale des entreprises de désinsectisation

Sur le marché de la désinsectisation, certaines entreprises mènent plusieurs activités. La quasi-totalité des entreprises (99,5 % et 100 % pour les TPE) exercent une activité de

prestation, mais seules 15 % d'entre elles exercent aussi une activité de distribution. Toutefois, cette dernière activité ne représente que 3 % du CA (Xerfi specific 2021).

La diversification des activités des 890 entreprises 3D du marché français se reflète dans les différents codes NAF⁷⁰ auxquels elles sont rattachées. Quatre principaux codes NAF sont attribués aux professionnels de la 3D :

- 1) 81.21Z : Nettoyage courant des bâtiments
- 2) 81.22Z : Autres activités de nettoyage des bâtiments et nettoyage industriel
- 3) 81.29A : Désinfection, désinsectisation, dératisation (3D)
- 4) 81.29B : Autres activités de nettoyage non classées ailleurs

En 2021 et en 2016, 87 % des entreprises étaient rattachées au code 81.29A, 5 % au code 81.21Z, 2 % au code 81.22Z, 1 % au code 81.29B et 5% des entreprises sont rattachées à d'autres codes⁷¹ (Xerfi specific 2021). Ces taux ne varient que très peu d'une taille d'entreprise à l'autre. Ainsi, la France comptait, en 2016, 678 entreprises avec au moins un salarié étaient rattachées au code 81.29A, 774 en 2021 et 750 en 2022⁷².

8.2.1.4 Répartition géographique des entreprises et choix de la localisation

Pour une entreprise, le choix de sa localisation est un critère stratégique, en particulier lorsque se situer proche géographiquement de la demande représente un atout logistique et commercial. C'est le cas des entreprises de désinsectisation qui ne peuvent exercer leurs activités à distance et doivent se déplacer sur les lieux d'infestations pour établir des diagnostics et les traiter.

À cet égard, l'étude de la base de données Sirene⁷³, extraite le 09/09/2022, semble montrer que les entreprises ayant le code NAF 81.29A⁷⁴ s'installent dans les départements ayant une forte demande potentielle de désinsectisation, qui elle-même semble être corrélée avec la densité de la population et l'activité touristique dans ces départements (sections 8.3.1.1 et 8.3.2.1⁷⁵).

Il est à noter que les Yvelines, les Hauts-de-Seine et le Val d'Oise, bien qu'étant parmi les départements les plus denses et les plus peuplés, ne sont pas dans le haut du classement. Plusieurs explications peuvent être proposées à cette situation. Premièrement, la demande est plus faible dans les départements de l'Île-de-France absents de ce classement (Tableau

⁷⁰ L'Insee définit la NAF, ou nomenclature d'activités française comme « *une nomenclature des activités économiques productives, principalement élaborée pour faciliter l'organisation de l'information économique et sociale* ». Une entreprise doit être immatriculée à la suite de sa création. Une fois l'immatriculation faite, l'Insee délivre à l'entreprise un code d'activité principale exercée, nommé code APE ou code NAF.

⁷¹ 1610B, 2899B, 4675Z, 9411Z, etc.

⁷² Les chiffres de 2020 et 2021 proviennent du rapport Xerfi, 2021. Celui de 2022 provient de la base Sirene, <https://www.sirene.fr/sirene/public/creation-fichier>, extraite le 09/09/2022. Cette base est décrite plus bas.

⁷³ La base Sirene est le fournisseur des données d'identité des entreprises et des établissements. Elle fait partie des données de référence du Service public de la donnée mis en place par la loi pour une République numérique.

⁷⁴ En se concentrant sur ce code NAF, 13 % des entreprises intervenant dans la 3D, d'après la sous-section précédente, sont exclues mais il est certain que seules les entreprises du secteur 3D sont traitées dans les parties suivantes.

⁷⁵ Le classement complet est disponible en Annexe 10.

21). Deuxièmement, le coût foncier élevé rapporté à la demande décourage les entreprises de s'installer dans ces départements. Troisièmement, la demande est récente et l'offre est en cours d'adaptation. Enfin, la superficie des départements de la région parisienne étant petite, les désinsectiseurs d'un département voisin peuvent intervenir dans plusieurs départements alentour sans surcoûts excessifs. La concurrence serait donc déjà élevée dans ces départements. Par ailleurs, il est rare qu'un désinsectiseur intervienne dans un seul département.

À l'opposé, la Lozère et la Creuse, les deux départements les moins peuplés et les moins denses de France métropolitaine, sont des départements ayant le moins d'établissements 3D, avec respectivement 3 et 10 établissements.

8.2.2 Les spécificités et stratégies de l'offre de désinsectisation

8.2.2.1 L'asymétrie d'information et ses conséquences

L'offre 3D tend à se développer en France. Néanmoins, l'offre de ce service et plus spécialement celui de la lutte contre les punaises de lit présentent des caractéristiques intrinsèques qui en conditionnent le fonctionnement et le développement.

Comme tout bien ou service, l'offre de désinsectisation peut être décrite comme un panier d'attributs comprenant : la détection des nuisibles, le traitement, la communication (l'affabilité, explication de l'intervention), la sensibilisation avant, pendant et après l'intervention (préparation des locaux, réoccupation des locaux, suivi de l'intervention), prise en compte des réclamations), etc. (Lancaster 1966). Chaque consommateur a sa propre préférence sur la combinaison des caractéristiques de la prestation.

Les prestataires peuvent utiliser ces attributs afin de se différencier sur le marché. Ils peuvent se différencier horizontalement, par la diversification de leurs offres, ou verticalement, en se différenciant par la qualité de leurs offres (Jaskold Gabszewicz et Thisse 1979; 1980; Shaked et Sutton 1982; 1983; 1987). La différenciation horizontale est une appréciation subjective des professionnels par les consommateurs. Certains préféreront acheter un peu plus cher le produit d'une entreprise parce qu'il est disponible dans un magasin plus proche. La différenciation verticale, au contraire, est une appréciation objective. Si deux professionnels, situés au même endroit, proposent leurs prestations au même prix, seul celui qui fournira la meilleure qualité de prestation aura des clients. Le marché de la désinsectisation présente une différenciation horizontale faible. Les professionnels se différencient essentiellement par leurs localisations et leurs zones d'intervention, mais ne se différencient pas par la diversification de leurs offres. En effet, d'une part, il est difficile de proposer des prestations de lutte contre les punaises de lit subjectivement différentes (l'éventail des solutions proposées étant relativement restreint). D'autre part, la lutte contre les punaises de lit et une autre activité 3D proposée par les prestataires ne sont pas des services substituables⁷⁶. Par conséquent, la différenciation verticale (par la qualité) est un enjeu stratégique pour les acteurs du marché.

Or, la différenciation verticale ne peut fonctionner que si les clients potentiels ont une information concernant la qualité du service proposé. Ce service est composé de trois types d'attributs : les attributs de recherche, les attributs d'expérience et les attributs de croyance (Nelson 1970; Darby et Karni 1973). La qualité des attributs de recherche est observable par

⁷⁶ Les différentes activités 3D répondent à des besoins différents. Ainsi, si le prix de la lutte contre les punaises de lit augmente, la demande de lutte contre les frelons, par exemple, n'augmentera pas. Il n'y aura pas de report d'une demande de service sur l'autre.

le consommateur *ex ante* (avant l'intervention du professionnel). La localisation, la zone et le délai d'intervention d'un professionnel sont par exemple des attributs de recherche. Il suffit au demandeur d'appeler l'entreprise ou de rechercher sur internet ou dans l'annuaire pour obtenir ces informations. La qualité des attributs d'expérience n'est observable par le consommateur qu'*ex post*, c'est à dire, qu'après avoir expérimenté le service et en avoir fait l'expérience. La communication et la sensibilisation sur les infestations aux punaises de lit sont des attributs d'expérience. Une fois qu'un technicien est venu traiter le domicile d'un client, ce dernier est en mesure d'émettre un jugement sur la qualité de ces attributs. La qualité des attributs de croyance n'est jamais observable par le consommateur, ni avant ni après avoir expérimenté le service. La détection et le traitement sont des attributs de croyance. En effet, le consommateur ne peut que croire ce que lui affirme le professionnel de la désinsectisation, comme un automobiliste ne peut que croire son garagiste quand il lui fournit un diagnostic pour réparer et entretenir son véhicule. Pour ce type d'attribut, si l'*« asymétrie informationnelle »*⁷⁷ en défaveur du client peut s'observer *ex ante*, elle opère également pendant la réalisation de la prestation par le professionnel. En effet, une fois le diagnostic et le traitement réalisés chez un client, et même quand le succès de la prestation est observable *ex post* par ce dernier (élimination des punaises de lit), le client ne peut jamais totalement apprécier l'adéquation du type d'intervention et des moyens mis en œuvre par le professionnel par rapport à son besoin initial (niveau d'infestation dont il est victime, du fait que ce niveau lui est inconnu). Cette situation s'observe par exemple dans le secteur des taxis. Le résultat de la course est observable (le client est arrivé où il le souhaitait ou non) mais pas sa qualité. Le chauffeur a pu emprunter des détours inutiles sur le trajet faisant augmenter le temps de parcours et le prix de la course (Balafoutas et Kerschbamer 2020). Cette situation d'asymétrie informationnelle est encore davantage accentuée lorsque le client est absent du lieu du traitement lors de l'intervention, comme cela est fréquemment le cas en cas d'infestation de punaises de lit (congé du domicile au moment de l'intervention) ; situation qui le place dans l'incapacité même d'observer quel type de service a véritablement été mis en œuvre. Le consommateur n'a donc d'autre choix que de faire confiance à l'entreprise intervenante.

L'action de l'expert (sa prestation) est cachée ou en partie dissimulée aux yeux du consommateur qui ne peut l'évaluer correctement. Un problème « d'aléa moral » apparaît (Arrow 1963), autrement dit une situation d'asymétrie d'information où un parti n'observe pas parfaitement les actions entreprises par l'autre parti. Dans ces circonstances, l'expert peut être incité à exploiter cette asymétrie informationnelle qui joue en sa faveur. Deux types de situations indésirables du point de vue du consommateur peuvent alors être observées (Caswell et Mojdzuska 1996; Dulleck et Kerschbamer 2006) :

- 1) Le traitement de l'expert est inadapté au besoin. L'expert peut sous-traiter en fournissant une prestation élémentaire sous-optimale par rapport au niveau d'infestation. Par exemple, l'expert diagnostique que le domicile entier est infesté de punaises de lit mais ne traite que la chambre ou il traite tout le domicile mais utilise moins de produit que nécessaire pour cette tâche. Inversement, l'expert peut sur-traiter, en fournissant une prestation sur-optimale alors que le consommateur n'avait besoin que d'une prestation élémentaire. Dans le cas d'une infestation de punaises de lit d'un logement particulier, celui-ci peut être traité excessivement au regard du niveau d'infestation. Par exemple,

⁷⁷ L'asymétrie d'information désigne une situation dans laquelle deux agents, dans le cadre d'un échange sur un marché, disposent d'une inégalité d'informations sur les termes de l'échange.

l'expert diagnostique une infestation circonscrite à la chambre mais décide de traiter tout le logement et facture le client une prestation excessive.

- 2) L'expert surfacture le traitement. Dans ce cas, l'expert vend une prestation excessive par rapport au niveau d'infestation diagnostiquée mais il effectue le traitement adéquat (qui correspond au niveau d'infestation diagnostiquée). Il facture alors le traitement adéquat (effectivement réalisé) au prix du traitement excessif (non réalisé). Ce comportement peut pousser le client à reporter l'intervention, à l'annuler, voire à déménager de son logement au lieu de traiter.

Cette asymétrie informationnelle en défaveur du client peut mener à la disparition des professionnels de haute qualité, voire dans un scénario pire-cas du marché de la désinsectisation. En effet, s'il n'existe aucun moyen pour distinguer les différences de qualité entre les professionnels de la lutte, le choix du consommateur sera donc essentiellement guidé par le niveau du prix proposé pour la prestation. Les entreprises seraient alors soumises à une forme de « discrimination statistique » (Chiang et Masson 1988). En effet, dans ce type de situation, les clients potentiels ne peuvent pas observer la qualité de la prestation *ex ante*, mais ils connaissent la qualité moyenne des prestations sur le marché. Dans ce cas, si une entreprise investit dans la qualité de son service, elle ne recevra pas tous les bénéfices en retour par la capture de plus de clients, alors que tous les concurrents en profiteront vu que la qualité moyenne des prestations sur le marché augmentera (externalité positive de l'investissement du concurrent). Ces deux effets combinés génèrent un comportement de « passager clandestin » sur le marché : les entreprises sont incitées à ne pas améliorer leurs qualités respectives. Au final, seules des entreprises de faible qualité risquent de subsister sur le marché. Cet effet est analysé en économie industrielle sous le nom de « sélection adverse » ou « antisélection » (Akerlof 1970)⁷⁸.

Afin d'assurer une qualité minimum des entreprises présentes sur le marché de la désinsectisation, l'État a mis en place une réglementation du secteur (cf. section 8.2.2.3). Les prestataires de haute qualité peuvent également se signaler de manière individuelle ou collective auprès des consommateurs via différents mécanismes de différenciation (cf. section 8.2.2.2).

8.2.2.2 Les stratégies individuelles des entreprises

L'objectif recherché par une personne ayant un logement infesté par des punaises de lit consiste à les faire disparaître au plus vite. Le client recherche donc un désinsectiseur efficace, dont le résultat est sûr. Un prestataire peut mettre en place différentes stratégies afin de se signaler comme efficace auprès de la clientèle potentielle (prix signal, publicité, garantie, réputation, label et certification). Toutefois, cette mise en place n'est pas aisée en ce qui concerne les attributs de croyance. Premièrement, les consommateurs ne peuvent baser leur choix d'un professionnel que sur des croyances subjectives à propos de la qualité de chaque attribut de croyance. Ces croyances sont fondées sur les informations disponibles (article de presse, bouche-à-oreille, labels, etc.), parfois très (trop) nombreuses et qui peuvent varier d'un demandeur à l'autre, en raison des différences de capacité à capter l'information ou à la traiter.

⁷⁸ Cet effet montre qu'en situation d'information imparfaite, le risque d'antisélection (ou sélection adverse) va conduire à un marché qui ne propose que des produits ou services de moyenne ou moins bonne qualité.

Deuxièmement, la détection tardive⁷⁹ ou inexiste de la qualité de chaque attribut de croyance peut inciter les prestataires de mauvaise qualité à imiter les « bonnes » entreprises, en envoyant les mêmes signaux que ces dernières.

8.2.2.2.1 *Le prix signal*

Par le prix, les entreprises peuvent envoyer un signal concernant la qualité de leurs prestations sur le marché. Toute chose égale par ailleurs, les consommateurs ont tous une préférence pour une plus grande qualité de service mais ils diffèrent individuellement en matière de disposition à payer pour cette qualité et en ce qui concerne la connaissance de la qualité des prestations de chaque entreprise d'un marché. Les entreprises fournissant des prestations de haute qualité peuvent se signaler auprès des consommateurs par un prix élevé, s'il existe des consommateurs informés quant à cette qualité et prêts à en payer le prix (Chan et Leland 1982; Wolinsky 1983; Cooper et Ross 1984; 1985; Bagwell et Riordan, 1991). Le prix se présente alors comme un vecteur d'information sur la qualité du service offert. Si aucun consommateur n'est informé de cette qualité en revanche, l'effet d'antisélection d'Akerlof mentionné précédemment risque de se produire (Akerlof 1970).

Cependant, il a été montré précédemment que, pour ce qui concerne l'offre de désinsectisation, le prix seul joue difficilement ce rôle informationnel sur la qualité. Les entreprises et les consommateurs doivent donc recourir à d'autres outils de différenciation.

8.2.2.2.2 *La publicité*

Les entreprises de haute qualité peuvent utiliser la publicité comme signal d'information sur la qualité de leur prestation (Tirole 1988). Pour des attributs d'expérience, la publicité ne peut pas fournir de véritables informations aux consommateurs, mais peut les convaincre concernant la haute qualité du bien ou du service. La publicité insistera sur les attributs de recherche (âge de l'entreprise, les agréments détenus, etc.) et d'expérience, en mettant en avant par exemple la compétence de l'entreprise (nombre d'interventions par an, les clients ayant fait confiance à l'entreprise, le pourcentage de clients satisfaits, etc.) et celle des techniciens (la communication, leurs formations)⁸⁰. Comme la publicité est coûteuse pour le prestataire, elle n'est profitable qu'à ceux de haute qualité car seuls ceux de haute qualité auront assez de demande pour couvrir les coûts de la publicité (Nelson, 1974). En revanche, cet effet de la publicité est plus ambigu concernant les attributs de croyance, car les demandeurs non experts n'obtiennent aucune information à leur sujet par la publicité en raison de leur manque d'expertise (Hahn, 2004).

La simple création par les professionnels de sites internet peut être considéré comme de la publicité. Ils informent les consommateurs sur les services fournis par l'entreprise et les agréments de celle-ci. De plus, la qualité du site est aussi un signal de la qualité du service (Wells, Valacich et Hess, 2011; Mavlanova, Benbunan-Fich et Koufaris, 2012). Parmi les prestataires de désinsectisation, certains disposent d'un site internet, d'autres pas. Parmi ceux qui en ont un, des différences significatives sont constatées entre les sites. Certains sites ne sont composés que d'une page avec un numéro de téléphone et une photo de l'entreprise ou de l'équipe. D'autres sont beaucoup plus complexes et riches, composés de plusieurs pages

⁷⁹ Si le client détecte la présence de punaises de lit six mois après le passage du professionnel, il lui sera difficile de lier leur persistance à la mauvaise qualité possible de l'intervention de ce même professionnel.

⁸⁰ Voir par exemple les sites suivants : (<https://aminsectes.fr/>, <https://www.dkmexperts.fr/>)

et un menu, décrivant les agréments détenus par l'entreprise, les services, des vidéos, des commentaires de clients satisfaits, etc.

Les auditions réalisées dans le cadre de l'expertise montrent aussi que le référencement internet est un outil important de visibilité qui nécessite un investissement (auditions CS3D et AMi).

8.2.2.2.3 La garantie

Les entreprises de haute qualité peuvent se signaler auprès des clients potentiels par la fourniture d'une garantie de résultat, afin que ces derniers s'assurent du résultat de la prestation et limitent ainsi le risque de sous-traitement (Palfrey et Romer, 1983; Emons, 1997). En effet, de la même façon que la publicité, cette garantie est coûteuse pour le prestataire. S'il échoue à désinsectiser, alors il doit, selon les clauses de la garantie, soit rembourser le client, soit réitérer son traitement tant que les punaises de lit ne sont pas éliminées. Seules les entreprises jugeant profitable cette stratégie vont la mettre en œuvre. Ainsi, seules les entreprises ayant une haute probabilité d'élimination des punaises de lit mettront en place une garantie. Toutefois, celle-ci doit être limitée dans le temps en raison des actions que pourraient cacher (volontairement ou involontairement) le client, autrement dit du fait de l'effet d'aléa moral. En effet, comme indiqué précédemment, les punaises de lit peuvent réinfester un logement en raison du comportement du client (manque de vigilance par exemple), et le fait que l'extinction de punaises de lit soit garantie par l'entreprise étant intervenue peut modifier négativement le comportement du consommateur qui pourrait être moins incité à la précaution (la mobilité ou le changement des occupants, récupération d'encombrants, achat dans les friperies, etc.). De plus, la réinfestation d'un logement peut aussi provenir de l'infestation d'un logement voisin non traité, difficilement décelable. Par conséquent, certaines entreprises peuvent même être réticentes à proposer la garantie, du fait de ces mécanismes d'infestation et réinfestation complexes à identifier et maîtriser.

Enfin, les garanties ne peuvent pas porter sur les attributs de croyance. Concernant les problèmes de santé potentiellement engendrés par la désinsectisation (du fait d'un traitement chimique par exemple), il peut s'avérer difficile pour un consommateur de lier sa maladie au traitement contre les punaises de lit. En effet, des années peuvent s'être écoulées entre les deux événements (traitement et occurrence de la maladie), ce qui rend délicate la preuve de leur causalité.

8.2.2.2.4 La réputation

Quand la qualité effective d'un produit ou d'un service n'est pas connue avant l'achat (attribut d'expérience ou de croyance), les consommateurs peuvent se fier à la réputation des entreprises pour former leurs prévisions sur la qualité du produit ou du service (Shapiro 1983; Klein et Leffler 1981.; Landon et Smith 1998; Marette, Bureau, et Gozlan 2000; Dewally et Ederington 2006; Huck, Lünser, et Tyran 2016; Mimra, Rasch, et Waibel 2016; Jolivet, Jullien, et Postel-Vinay 2016). Cette stratégie pourrait être efficace pour les caractéristiques d'expérience, mais pourrait ne pas fonctionner pour les biens de croyance (Marette, Bureau, et Gozlan 2000). En effet, la qualité du service n'est pas observée par le client après le passage de l'expert (seul le résultat l'est). Ce dernier n'aurait donc aucune incitation à investir dans la qualité des caractéristiques de croyance, contrairement à celles d'expérience.

Une étude approfondie des avis documentés sur Google concernant les entreprises, écrits par leurs anciens clients, pourrait confirmer ou non cette intuition. Ces avis indiqueraient les attributs de la désinsectisation qui comptent pour le consommateur. Quelques exemples d'avis⁸¹ concernant des entreprises du secteur 3D sont présentés en annexe à titre illustratif (Annexe 11) et semblent montrer que les clients valorisent la ponctualité, la communication et la réactivité, qui sont des attributs d'expérience. Ils mettent aussi en avant le rapport qualité-prix et le professionnalisme du prestataire, mais ces termes demeurent flous car ils ne sont pas définis dans les commentaires. Les commentaires Google sont un outil important pour les entreprises. Ils leurs permettent d'augmenter leur visibilité et leur réputation (Castellano et Dutot, 2017). D'après les auditions réalisées, le « bouche à oreille » est même un outil essentiel en ce sens. Les prestataires demanderaient à leurs clients de les recommander à la suite d'une intervention pour asseoir cette réputation. Une étude de groupes Facebook de quartier pourrait indiquer si cette stratégie est bénéfique. Par exemple, sur le groupe Facebook « les Mamans du 15^e », des publications conseillent des entreprises de désinsectisation. Ce canal fonctionne comme de la publicité gratuite pour les entreprises.

Les entreprises peuvent également décider de rejoindre la Chambre Syndicale de la Dératisation Désinfection Désinsectisation (CS3D), afin de jouir d'une réputation collective (Tirole, 1996). Cette appartenance peut s'apparenter à un label.

8.2.2.2.5 *Le label et la certification*

Sur un marché présentant une asymétrie informationnelle forte pour le consommateur et sur lequel les entreprises ont un besoin de se différencier sur la qualité, des institutions (publiques ou privées) qui certifient la qualité d'un produit ou d'un service peuvent s'avérer très utiles dans la fourniture d'information aux acheteurs (Caswell et Mojdzuska 1996; Marette, Crespi, et Schiavina 1999; Marette, Bureau, et Gozlan 2000; Crespi et Marette 2003; Dewally et Ederington 2006; Elfenbein, Fisman et McManus 2015; Blind, Mangelsdorf et Pohlisch 2018; Fanasch et Frick 2020; Zapecelnyuk 2020). En effet, la certification et le label sont des instruments de signal qualité pour les consommateurs et permettent de réduire l'asymétrie informationnelle sur le marché. Ils signalent aux demandeurs que les entreprises ont effectué un effort plus élevé en matière de qualité, que celui requis par la réglementation à travers l'obtention du Certibiocide (cf. Tableau 20 et la section 8.2.2.3). La certification assure aux consommateurs que l'entreprise a une qualité supérieure à la réglementation (section 8.2.2.3). Obtenir une certification est une démarche volontaire de l'entreprise qui lui permet de se différencier verticalement de ses concurrents et de le signaler aux demandeurs. Le professionnel s'engage ainsi à suivre un cahier des charges, garant d'une certaine qualité de service. Le secteur de la désinsectisation a mis en place la certification *CEPA Certified*. Cette certification est fondée sur la norme CEN 16 636, seul standard européen Qualité dans la lutte contre les nuisibles et est lancée par la Confédération des associations européennes de lutte antiparasitaire (CEPA). En France, deux organismes de certification existent pour ce label : le Bureau Veritas et l'Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-Construction Aménagement (FCBA). Ces organismes certificateurs sélectionnent les entreprises ayant fait une demande de certification puis mènent un audit. Si celui-ci est concluant alors l'entreprise obtient la certification pour 3 ans, sinon elle doit suivre les recommandations inscrites dans le rapport d'audit. Cette norme deviendra obligatoire le 1er janvier 2024 pour les membres de la CS3D.

⁸¹ Environ 300 commentaires furent lus.

La certification informe non seulement les consommateurs, mais stimule aussi les entreprises vers des prestations de meilleure qualité. Elle permet de réduire, voire de résorber, l'asymétrie d'information du consommateur pour les biens et services qui présentent des caractéristiques d'expérience. C'est un outil qui suit une stratégie similaire à celle de la réputation (Dewally et Ederington 2006; Elfenbein, Fisman et McManus 2015).

En revanche, l'effet n'est plus le même pour les attributs de croyance de la désinsectisation. Puisque les signaux précédemment analysés (prix, publicité, réputation, garantie) pour résoudre les effets d'antisélection peuvent ne pas fonctionner pour ces attributs (Mahenc et Volle 2021), il est impossible pour les clients de vérifier la qualité de ces attributs *ex post*. Toutefois, la certification permet de transformer des attributs de croyance en des attributs de recherche (Caswell et Mojdzska 1996), et peut être complémentaire aux outils présentés précédemment. En se renseignant par exemple sur internet, les clients potentiels pourront connaître les agréments que l'entreprise détient. Les entreprises certifiées doivent donc les afficher explicitement, en expliquer les garanties, et le consommateur doit être informé de l'existence de ces agréments. Dans le cas contraire, les entreprises de haute qualité ne seront pas incitées à supporter le coût de la certification si elle ne leur apporte aucun bénéfice en retour par la reconnaissance des consommateurs. Ainsi, la certification est une stratégie valable du point de vue des entreprises si les effets économiques positifs du signal véhiculé par l'agrément (augmentation de la demande) dominent ses effets négatifs (coût de la certification) (Blind, Mangelsdorf et Pohlisch 2018; Fanasch et Frick 2020).

Concernant les labels, ils garantissent une qualité supérieure à la réglementation dans un domaine spécifique. Dans la désinsectisation, ceux-ci portent sur le type de nuisibles (rongeurs, punaises de lit, frelons, blattes)⁸² ou la méthode employée (Eco-label punaise de lit, label de détection canine). Ils n'ont pas tous la même valeur selon qu'ils soient délivrés par un organisme certificateur ou non. Par exemple, parmi les labels sur la détection canine de punaises de lit, certains sont fournis par des associations de professionnels comme celui du Syndicat des Experts en Détection Canine des Punaises de lit (SEDPCL) et celui de l'Association des Chiens Detecteurs de Punaises de Lit (ACDPL) alors que le label *Bed Bug Protect* Détection Canine (BBPDC) est fourni par l'INELP, un institut de formation indépendant. Les labels délivrés par des organismes certificateurs peuvent être assimilés à une certification. La présence de ce tiers indépendant et externe au secteur, dont la capacité d'enquêter sur la qualité dépasse celle d'un client individuel, est nécessaire pour la fiabilité et la crédibilité de l'agrément et ainsi transformer des attributs de croyance en attribut de recherche. Sans elle, les labels ne jouent pas leur rôle informationnel. Le label « Punaise de lit » a été mis en place par le gouvernement et la CS3D. Aujourd'hui, 760 professionnels du secteur ont reçu la formation correspondante (audition de la CS3D), afin que leurs entreprises bénéficient du label. La France compte ainsi 485 entreprises ayant ce label en 2022.

Le site de la CS3D punaises de lit⁸³ (section 8.3.1.2 pour plus de détails) met à la disposition du public la liste des entreprises labellisées et permet également à un client potentiel de connaître les entreprises qui interviennent dans son département. Les départements de l'Ile-de-France sont les départements dans lesquels le plus d'établissements labellisés interviennent : 71 établissements labellisés interviennent à Paris, 57 en Seine-et-Marne et en Hauts-de-Seine, 55 en Essonne, 55 en Seine-Saint-Denis, 52 dans le Val-de-Marne, 51 dans les Yvelines et 49 dans le Val d'Oise. Le classement complet est disponible en Annexe 12.

⁸² Dans la construction, les labels portent sur la performance énergétique, les matériaux, etc.

⁸³ <https://cs3d-expertise-punaises.fr/>

Tableau 20 : Les labels et certifications dans le domaine de la désinsectisation

Description	Labels	Logo
L'entreprise a au moins un employé qui a reçu une formation spécifique à la problématique des punaises de lit.	Label Punaise de lit	
	Certipunaise	
L'entreprise a été formée à la détection canine des punaises de lits	SEDPL	
	ACDPL	
	BBPDC de l'INELP	
L'entreprise est membre de la CS3D	CS3D	
L'entreprise est un partenaire de Badbugs, audité par Badbugs ⁸⁴	Badbugs	
L'entreprise détient la certification CEPA, audité par FCBA ou Bureau Veritas, deux certificateurs indépendants.	CEPA	

⁸⁴ Badbugs sélectionne les entreprises en les auditant. Cet audit peut apparaître comme un label aux yeux des consommateurs.

Cependant, le rôle informationnel de ce label est amoindri par la présence d'entreprises qui n'interviennent pas contre les punaises de lit, contrairement à ce qui est indiqué sur le site. Certaines entreprises sont spécialisées dans le logement, sont des plateformes numériques ou ne font que de la détection canine de punaise de lit. Une clarification des entreprises pouvant être labellisées pourrait être bénéfique quant à la qualité du signal fourni par le label.

La profusion de labels et de certifications sur le marché (Tableau 20) peut aussi générer de la confusion du public confronté à des informations trop abondantes et finalement, parasitantes pour son choix (Hamilton et Zilberman 2006; Bonroy et Constantatos 2008; 2015; Fischer et Lyon 2014). Comme indiqué précédemment, le secteur de la lutte contre les punaises de lit comporte neuf agréments, dont trois ne portent que sur la détection. Tous ces agréments n'ont pas les mêmes valeurs objectives. Un des agréments est le « Certibiocide » qui est imposé par le gouvernement dans un cadre réglementaire (section 8.2.2.3). Celui-ci pourrait avoir aux yeux du consommateur plus de valeurs (en matière de certitude concernant la qualité) en raison du tampon du gouvernement. Certains agréments ne sont obtenus que par l'adhésion à un groupe et la signature d'une charte, tels que les logos CS3D, SEDPCL ou ACDPL (Tableau 20). D'autres sont issus d'audit, mais ces audits ont également des valeurs objectives différentes. Le label « Badbugs » est fourni pas l'entreprise éponyme à la suite d'un audit mené par l'entreprise elle-même, alors que le label CEPA est une norme européenne et est obtenu à la suite d'un audit mené par des certificateurs indépendants, FCBA ou Bureau Veritas. Quant à la formation punaise de lit, deux labels existent pour la même formation car l'un (CertiPunaise) est une marque déposée par une entreprise (IziPest). L'obtention du Certipunaise offre les mêmes droits que l'obtention du label « Punaise de lit », autrement dit l'apparition de l'entreprise sur le site de la CS3D et sur le site gouvernemental. Le label SEDPCL permet également aux entreprises d'apparaître sur ce dernier.

Les certifications et les labels doivent être lisibles et identifiables sans quoi ils risquent d'être invisibilisés ou perçus négativement par les consommateurs, contraints d'investir du temps de recherche de connaissances pour distinguer les certifications et labels entre eux. L'effet de signal qualité ne jouerait alors plus. Cette situation serait contre-productive et fragiliserait les entreprises du marché ayant la plus haute qualité (Youssef et Abderrazak 2009; Brécard 2014; 2017). Une simplification du marché ou une notice explicative disponible sur la page gouvernementale dédiée⁸⁵ (à condition que la page soit connue des demandeurs) pourrait être nécessaire. La simplification du marché est indirectement mise en œuvre par le gouvernement à travers le choix de certains labels d'apparaître sur le site gouvernemental ou non et de ne pas distinguer le label Punaise de lit et le Certipunaise. Quant aux notices, en informant le demandeur des spécifications associées à chaque formation (thèmes abordés, nombre d'heures de formation, formation théorique et/ou pratique, validation sur terrain, etc.), elles pourraient lui permettre de juger de la fiabilité et de l'efficacité de ces formations et donc de la qualité de l'entreprise.

8.2.2.3 La réglementation du marché de la désinsectisation

Afin de pouvoir exercer en tant que prestataire de la désinsectisation, le professionnel doit détenir le certificat Certibiocide. Ce certificat est un dispositif national, obligatoire depuis le 1^{er} juillet 2015, individuel et valable pendant 5 ans. Il est destiné aux professionnels amenés à utiliser, vendre ou acheter certains types de produits biocides destinés aux professionnels (et dépasse donc le périmètre de la désinsectisation). Ce certificat s'obtient au terme d'une

⁸⁵ <https://www.ecologie.gouv.fr/punaises-lit-letat-vous-accompagne>

formation de trois jours spécifique délivrée dans un centre de formation habilité à cet effet et enregistré auprès du ministère chargé de l'environnement⁸⁶. Le Certibiocide est donc une garantie de qualité minimale pour le client. Etant donné le caractère individuel du certificat, ce n'est pas un agrément d'entreprise ; une entreprise ne peut donc pas être « agréée ». Malgré cela, bon nombre d'entreprises affirment être agréées et certaines affichent un logo qui n'existe pas officiellement (Figure 21).



Figure 21 : Logo du Certibiocide utilisé par certaines entreprises de la désinsectisation

(Source : <https://www.hamelin.info/metier/environnement-de-travail/certibiocide/>)

Actuellement, cette réglementation est la seule mise en place par le gouvernement français dans le domaine de la désinsectisation. Plusieurs possibilités pourraient s'offrir au régulateur qui souhaiterait modifier la réglementation actuelle : augmenter les exigences de qualité requise pour opérer en tant que professionnel dans le secteur de la désinsectisation, ou accompagner la réglementation actuelle d'une réglementation par les prix.

Dans le premier cas, les professionnels offriraient une prestation de meilleure qualité, mais ce serait au dépend de la concurrence sur le marché. L'augmentation de la qualité minimale requise augmenterait les barrières à l'entrée sur le marché, ce qui pourrait entraîner une concentration du secteur de la désinsectisation. Or, plus le marché est compétitif (plus il y a d'entreprises offrant le même type de biens ou de services), plus l'augmentation des ventes par la certification est grande pour le professionnel certifié. L'impact positif sur les ventes de la certification décroît avec la fraction de certifiés parmi les offreurs : moins il y a de certifiés sur le marché, plus la valeur du certificat est importante, les consommateurs inférant que les biens avec un taux plus élevé de certification présentent une qualité supérieure, réduisant donc la différence dans la performance espérée entre les biens porteurs de certification et les non porteurs (Elfenbein, Fisman, et McManus 2015). Ainsi, une réglementation trop stricte par la qualité pourrait diminuer les incitations des entreprises à se certifier. Toutefois, il est à noter que les entreprises pourraient ne pas être désincitées à investir dans la qualité pour autant. Par exemple, la certification et la réputation seraient des stratégies substituables (Dewally et Ederington 2006)⁸⁷. Moins la stratégie de certification est intéressante, plus celle de réputation l'est. Ainsi, une réglementation par la qualité pourrait encourager les entreprises à davantage investir dans la réputation.

Dans le second cas, le régulateur pourrait contrôler les prix afin d'inciter les entreprises à investir dans la qualité, en plus de la réglementation en place sur la qualité. En effet, comme déjà mentionné, les désinsectiseurs peuvent se distinguer par la qualité mais aussi par les

⁸⁶ <https://certibiocide.din.developpement-durable.gouv.fr/faq>

⁸⁷ Les auteurs montrent que l'impact de la certification sur la demande diminue avec l'accumulation des retours négatifs de la part d'anciens clients des acheteurs.

prix. Or, dans un contexte de ressources contraintes, et toute chose égale par ailleurs, le choix du consommateur est généralement guidé par le niveau du prix proposé pour un bien ou un service. Ainsi, les clients peuvent être tentés de choisir le professionnel le moins cher et non celui ayant le meilleur signal de qualité (section 8.2.2.2). Ce type de stratégie peut nuire aux professionnels qui investissent dans la qualité et la crédibilité. La résultante pourrait en être à nouveau un effet d'antisélection sur le marché où seules les entreprises les moins crédibles pourrait demeurer.

La littérature économique montre que si les consommateurs sont sensibles au prix, la concurrence en prix peut amoindrir l'effort de réputation sur la qualité d'un produit, qu'il ait des caractéristiques d'expérience ou de croyance (Huck, Lünser, et Tyran 2016; Mimra, Rasch, et Waibel 2016). Ceci peut être source de fraudes (sous-traitement, sur-traitement, surfacturation). Par conséquent, contrôler les prix du marché pourrait limiter cet effet négatif, en incitant les entreprises à se faire concurrence sur d'autres critères (comme celui de la qualité de leur offre), et inciter par là le consommateur à faire de la qualité un critère premier de choix (Huck, Lünser, et Tyran 2016; Mimra, Rasch, et Waibel 2016)⁸⁸. Toutefois, d'après les acteurs du marché auditionnés, une telle réglementation pourrait pousser des entreprises de haute qualité à quitter le marché, si le prix réglementé n'est pas adéquat à l'offre proposée et à ses contraintes économiques spécifiques (auditions de la CS3D d'AMi). En France, il semblerait que la mise en place d'une telle réglementation ait été rendue impossible en raison d'un nombre trop élevé de facteurs impactant le prix sur le marché de la désinsectisation (superficie du lieu à traiter, facilité d'accès de ce lieu, etc.).

8.2.3 Synthèse

La branche 3D est dynamique. De nombreuses entreprises se sont créées en quatre ans, le chiffre d'affaires de la branche a augmenté ainsi que ses effectifs. Ce dynamisme pourrait être lié à l'augmentation des infestations de punaises de lit. Une étude de la demande aurait donc été opportune afin de confirmer ce lien. Sans donnée sur les infestations et les interventions, seule une étude de la demande potentielle a été menée. Elle donne une idée du lien entre l'offre de lutte contre les punaises de lit par la désinsectisation et la demande.

Concernant l'offre de désinsectisation, les entreprises ont intérêt à se différencier de leurs concurrents afin d'inciter les demandeurs à les contacter. Les clients potentiels peuvent être sensibles au prix mais peuvent également valoriser la qualité de services qu'ils ne peuvent pas toujours observer. En effet, la lutte contre les punaises de lit présente des attributs d'expérience dont la qualité n'est observable qu'*ex post* et des attributs de croyance dont la qualité n'est observable ni *ex ante* ni *ex post*. Cette asymétrie d'information peut être exploitée par le prestataire en sa faveur. Afin de limiter le pouvoir des prestataires issu de cette asymétrie, la réglementation impose l'obtention du Certibiocide aux professionnels de la désinsectisation et assurer ainsi une qualité minimale de services aux consommateurs. Malgré cela, le prestataire peut sous-traiter ou sur-traiter le lieu infesté et peut également surfacturer le traitement. L'existence de tels comportements génère une méfiance des consommateurs envers les prestataires qui peut mener à la disparition des entreprises de haute qualité (antisélection). Ces dernières ont alors intérêt à se signaler auprès des demandeurs. Elles peuvent proposer un prix élevé ou une garantie de résultats, utiliser la publicité ou investir

⁸⁸ L'article Huck, Lünser, et Tyran (2016) ainsi que celui de Mimra, Rasch, et Waibel (2016) se concentre sur la qualité en tant que réputation.

dans leur réputation afin de signaler la qualité de leurs attributs d'expérience. Elles peuvent également obtenir des agréments pour signaler la qualité de leurs attributs de croyance. Cependant, la stratégie d'agrémentation est bénéfique si les clients potentiels connaissent l'agrément ainsi que sa valeur, autrement dit les garanties de cet agrément. Toutefois, la profusion d'agréments sur le marché noie l'information véhiculée par un agrément. Les agréments doivent être lisibles et identifiables sans quoi ils risquent d'être invisibilisés ou perçus négativement par les consommateurs, contraints d'investir du temps de recherche de connaissances pour distinguer les certifications et labels entre eux. L'effet de signal qualité ne jouerait alors plus.

8.3 La demande du service de désinsectisation en France

Il existe quatre principaux types de clients sur le marché de la lutte contre les punaises de lit : les particuliers, les établissements d'hébergement touristique, les bailleurs sociaux et les autres types d'entreprises. La suite du rapport se concentre sur les trois premiers types de clients, du fait des données collectées disponibles pour ceux-ci.

8.3.1 Les particuliers

8.3.1.1 La demande potentielle du service par les particuliers

La demande potentielle est l'ensemble des personnes susceptibles d'exprimer un besoin (et de payer) pour la prestation. La population française générale représente à cet égard un premier niveau d'analyse de demande potentielle. Dans un premier temps, les données de l'Institut national d'études démographiques (Ined), les recensements de population, les estimations de population et les cartes de population de l'Insee sont des sources d'intérêt pour cartographier la répartition et les densités de population sur le territoire et identifier la demande potentielle des particuliers. Étant donné que la densité de population augmente significativement la probabilité d'infestation (Fung et al. 2022)⁸⁹, les cartes de densité démographique de l'Insee sont également d'intérêt pour cette analyse. Dans un second temps, s'intéresser aux personnes qui font des recherches concernant les punaises de lit et leurs traitements est aussi une source d'information utile pour investiguer à un niveau plus fin la localisation de cette demande potentielle à travers l'étude des requêtes internet.

8.3.1.1.1 *Répartition et densité de la population française*

En 2023, d'après les estimations de l'Insee de janvier 2023 et de l'Ined, les trois régions les plus peuplées en France sont, dans l'ordre décroissant, l'Ile-de-France, l'Auvergne-Rhône-Alpes et la Nouvelle Aquitaine. Les douze départements les plus peuplés sont par ordre décroissant le Nord (2 606 646 habitants), Paris (2 102 650), les Bouches-du-Rhône (2 069 118), le Rhône (1 921 014), la Gironde (1 691 437), la Seine-Saint-Denis (1 682 806), les Hauts-de-Seine (1 642 002), la Loire-Atlantique (1 497 313), la Haute-Garonne (1 470 367), les Yvelines (1 461 524), le Pas-de-Calais (1 453 934) et la Seine-et-Marne (1 452 775).

Les départements les plus densément peuplés (hors Mayotte) se situent en Ile-de-France. Il s'agit, par ordre décroissant, de Paris (20 720 habitants au km²), des Hauts-de-Seine (9200),

⁸⁹ Voir aussi section 4.2.1.3

de la Seine-Saint-Denis (6918), du Val-de-Marne (5702), du Val-d'Oise (994), de l'Essonne (719) et des Yvelines (631). Se trouvent ensuite : le Rhône (572), le Nord (454) et les Bouches-du-Rhône (400) (Figure 22).

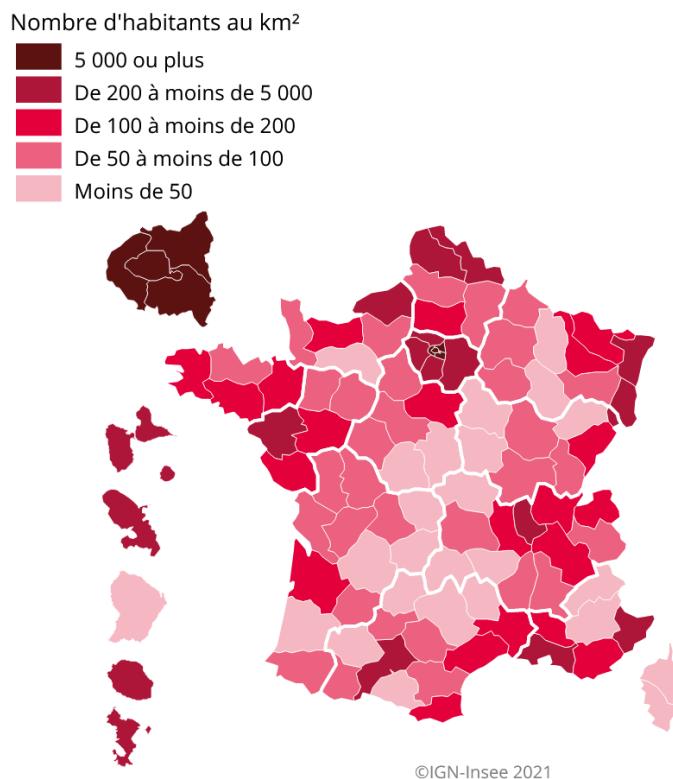


Figure 22 : Carte départementale de densité de population, 2021
(Source : Insee⁹⁰)

Les départements les plus peuplés et les plus densément peuplés représentent donc pour le marché de la désinsectisation autant de foyers locaux de demande potentielle pour leur offre de service. Comme montré plus haut, ces départements sont également ceux où sont installés le plus de professionnels de la désinsectisation (section 8.2.1.4).

8.3.1.1.2 *L'identification de la demande potentielle en recherche active*

Sans prétendre être une source d'information scientifique, les requêtes internet fournies par *Google Trends* menées par les français représentent une source de données néanmoins d'intérêt pour identifier la demande potentielle en recherche active d'informations sur les punaises de lit et leurs méthodes de lutte. La recherche portant sur l'opinion publique et les décisions d'achat est vaste et utilise de plus en plus *Google Trends* comme source d'informations (Whitman Cobb 2015; Mavragani et Tsagarakis 2016; Jun, Yoo, et Choi 2018). *Google Trends* offre une excellente plateforme pour observer les activités de recherche d'information des consommateurs et est simple d'utilisation. Toutefois cet outil présente un

⁹⁰ voir « Population par département » (page insee.fr, dernière consultation le 21/03/2023). La carte est fondée sur le recensement de 2018.

biais de sélection car seuls les utilisateurs de Google seront considérés dans l'étude. Ce biais est atténué néanmoins par le fait que Google représente 90 % des requêtes en France.

Afin de faire remonter le maximum de requêtes sur les punaises de lit, des différences orthographiques et grammaticales ont été prises en compte, les termes de recherches utilisés dans *Google Trends* ont été les suivants : « punaises de lit » + « punaise de lit » + « puces de lit » + « puce de lit ».

Ainsi, un individu identifiant la présence d'un insecte sur son lit ou ayant subi des piqûres peut utiliser internet pour mener une recherche, afin de comprendre leur origine et investiguer la question des punaises de lit, que certains nomment par erreur puces de lit. En combinant par exemple les quatre requêtes par mots clefs « punaise de lit », « punaises de lit », « puce de lit » et « puces de lit », il est possible d'avoir une idée du nombre de requêtes générées mais surtout de leur localisation et donc indirectement de la demande potentielle de désinsectisation que représentent ces mêmes individus. Cette demande est « potentielle » et non effective puisque faire une recherche de ce type ne déclenche pas systématiquement un appel à un désinsectiseur. L'internaute peut découvrir, par sa recherche, que l'insecte identifié sur son lit n'est en fait pas une punaise de lit ou que les punaises de lit ne sont pas à l'origine de ses piqûres ou encore, il peut comprendre qu'il subit bien une infestation de punaises de lit mais décider de traiter son logement lui-même.

Toutefois, l'étude de ces requêtes au niveau départemental est un exercice intéressant pour montrer sa corrélation avec la demande potentielle de désinsectisation. L'étude ne portera que sur les départements composant la France métropolitaine en raison de la séparation des territoires d'outre-mer du reste de la France qu'effectue *Google Trends* et des données disponibles. Enfin, il est important de noter que cet outil normalise les données de recherche en fonction de l'heure et du lieu d'une requête. Chaque point de données est divisé par le nombre total de recherches effectuées pour la période et le lieu qu'il représente, afin d'effectuer un comparatif de la popularité relative.

Deux périodes sont étudiées. La première s'étale du 01/01/2022 au 31/12/2022, la seconde du 01/01/2018 au 31/12/2018. Ces périodes ont un impact sur les résultats. En effet, *Google Trends* normalise les données sur une période et sur un territoire choisi par l'utilisateur de *Google Trends*. Or, les résultats de *Google Trends* sont sensibles à ces critères car la tendance est calculée en fonction du nombre de recherches dans un territoire. Or, ce nombre change avec la période donnée et le territoire considéré. Les punaises de lit, pouvant être présentes sur tout le territoire national, l'étude des requêtes sur Google permettra de classer l'importance de la demande potentielle par département. Les départements ont des caractéristiques qui peuvent être corrélées avec la propagation de punaises de lit telle que la population, la densité et le tourisme. Le tourisme évolue dans le temps. En effet, il dépend des périodes de vacances scolaires ou des pèlerinages. Il peut donc y avoir en théorie un biais des données liées aux mois inclus dans les périodes sélectionnées mais également aux années sélectionnées. En effet, les résultats sont évidemment sensibles au système de collecte de Google. Or, celui-ci a changé le 1er janvier 2022.

Les départements avec la plus forte demande potentielle appartiennent principalement aux régions Ile-de-France et Grand Sud-Est⁹¹ (Tableau 21). Certains des départements de ces régions sont parmi les plus peuplés et les plus denses tels que Paris, Hauts-de-Seine, Seine-

⁹¹ Le Grand Sud-Est est défini par l'Insee comme le territoire comprenant les anciennes régions administratives suivantes : Rhône-Alpes, Auvergne, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon.

Saint-Denis, Val-de-Marne, Val-d'Oise, Essonne, Bouches-du-Rhône, Rhône et la Haute-Corse. Le peuplement et la densité de population semblent donc être partiellement corrélés avec les requêtes portant sur les infestations de punaises de lit et on peut supposer qu'il existe également, selon toute logique, une corrélation entre le nombre de requêtes et le nombre d'infestations. Le tourisme peut également être un facteur explicatif des requêtes. Certains des départements ayant le plus de requêtes concernant les punaises de lit par rapport au nombre total de recherches effectuées dans le département sont parmi ceux ayant le plus d'établissements de logements touristiques. Parmi ces derniers, certains sont peuplés et denses comme Paris et les Bouches-du-Rhône mais d'autres le sont (bien) moins comme le Var ou la Haute-Corse. Les voyages et les visites des français et des étrangers pourraient donc augmenter la probabilité d'infestations de punaises de lit. Ceci pourrait expliquer la présence de la Creuse et de la Haute-Vienne dans le classement. Il est à noter que ces deux départements n'appartiennent pas aux deux régions susmentionnées et sont voisins. La présence de ces deux départements et plus particulièrement celle de la Creuse ainsi que son classement (sixième en 2022 et premier en 2018) peut surprendre. Ce département est l'antépénultième en matière de densité de population, devant la Lozère et la Guyane, l'avant-dernière en matière de population devant la Lozère et est le département de France métropolitaine ayant le moins d'hébergements touristiques en 2022 après le territoire de Belfort⁹², il est pourtant le premier département en matière de requêtes sur les punaises de lit. Le pèlerinage de Saint-Jacques-de-Compostelle, dont un chemin traverse ces départements (la voie de Vézelay), pourrait être une explication. Chaque année des centaines de milliers de pèlerins sont sur les chemins de Saint-Jacques-de-Compostelle⁹³. Ainsi, certains territoires peu peuplés ou peu denses comme la Creuse, sont traversés par un nombre important de pèlerins qui peuvent bouleverser la proportion de requêtes sur les punaises de lit enregistrées sur le territoire. Cependant, cette explication ne semble pas suffisante. La Creuse demeure dans le classement des douze premiers départements après avoir limité l'effet du pèlerinage, en tronquant la période de forte affluence. Bien que le pèlerinage puisse avoir lieu toute l'année, la fréquentation des chemins pourrait être plus importante du 1^{er} avril au 31 octobre. En effet, des messes pour les pèlerins ont lieu tous les jours à la cathédrale Notre-Dame du Puy-en-Velay (point de départ de la voie du Puy-en-Velay, l'itinéraire le plus fréquenté⁹⁴) pendant cette période seulement et les horaires de remise de la créduciale⁹⁵ sont plus longs sur cette période⁹⁶. Ainsi, en tronquant cette période, l'effet du pèlerinage pourrait être limité. L'importance des requêtes portant sur les punaises de lit enregistrées dans la Creuse pourrait donc être liée à d'autres éléments qui ne sont pas encore identifiés.

Par ailleurs, les différentes corrélations identifiées semblent se confirmer dans le temps. La plupart des départements présents dans le classement de 2022 sont présents dans celui de 2018.

Enfin, nous remarquons que la punaise de lit est un nuisible encore méconnu par la population française. Les requêtes les plus fréquentes, et ceci indépendamment de la période sélectionnée, sont celles permettant d'identifier le parasite, d'identifier les boutons consécutifs

⁹² Insee, Etablissements d'hébergements touristiques en 2022

⁹³ <https://oficinadelperegrino.com/en/statistics/>

⁹⁴ <https://www.chemins-compostelle.com/itineraires/10/la-voie-du-puy-en-velay>

⁹⁵ La créduciale ou créanciale (credencial en espagnol), est un carnet au nom du pèlerin, qui lui permet de collecter les tampons (« cachets » pour les Belges, « sellos » en Espagne) de ses étapes vers Saint Jacques de Compostelle.

⁹⁶ <https://www.cathedraledupuy.org/pelerins-de-saint-jacques/informations-pratiques-1/la-benediction-des-pelerins-et-la-creanciale>

aux piqûres et les traitements. Celles ayant enregistré la plus forte progression en matière de fréquence de recherche visaient à savoir s'il y avait infestation de punaises de lit, connaître les origines de l'infestation, trouver le nid et comment traiter. Il est à noter, à ce propos, que la requête présentant la plus grande progression récemment est celle portant sur la méthode de lutte par vapeur.

8.3.1.2 Les coûts de recherche liés à la lutte contre les punaises de lit pour les particuliers

Si les demandeurs de désinsectisation décident de faire appel à un professionnel alors ils subissent également des coûts de recherche. Les demandeurs vont sélectionner un professionnel selon les signaux qu'il envoie (section 8.2.2.2) mais ils peuvent en sélectionner plusieurs afin d'avoir des avis (diagnostics ou devis) différents à des fins de comparaison.

Un ensemble d'articles ont étudié les effets de la capacité d'un consommateur à rechercher un autre expert pour obtenir un second avis, avant de choisir entre deux intervenants. La recherche d'un second avis a pour but d'augmenter la satisfaction finale du consommateur (Pesendorfer et Wolinsky 2003; Mimra, Rasch, et Waibel 2016; Schneider et Bizer 2017; Agarwal, Liu, et Prasad 2019). En effet, si les entreprises ont une stratégie de réputation et si elles anticipent que le consommateur cherchera un second avis après le leur, alors elles sont moins incitées à être malhonnêtes, risque inhérent aux caractéristiques de croyances. La possibilité pour les consommateurs de rechercher un second avis exerce un pouvoir indirect de concurrence sur les entreprises, et incite les experts à exercer un effort afin d'améliorer la précision de leur diagnostic. Les tentatives de fraudes des prestataires (situations indésirables telles que décrites plus haut) sont ainsi réduites. Toutefois, ce comportement des consommateurs n'assure pas forcément le résultat du traitement (Gottschalk, Mimra, et Waibel 2020; Bindra et al. 2021) et peut engendrer des prix plus élevés sur le marché (Wolinsky 1993; Sülzle et Wambach 2005; Dulleck et Kerschbamer 2006; Bindra et al. 2021). En effet, les professionnels anticipant la recherche d'un second avis par les consommateurs peuvent vouloir couvrir les échecs rencontrés après l'émission de devis sans suite par un prix plus élevé de leurs interventions. Ces derniers penseraient qu'être un second avis augmente les chances d'être sélectionné par le consommateur.

Les demandeurs peuvent décider de distinguer le diagnostic du traitement, en sélectionnant un professionnel différent pour chacune de ces deux étapes. La séparation permettrait de limiter l'asymétrie d'exploitation entre le consommateur et l'expert (Darby et Karni 1973; Balafoutas et Kerschbamer 2020), c'est-à-dire la tentation potentielle de celui qui fait le diagnostic de surestimer le traitement nécessaire pour éradiquer l'infestation, du fait qu'il sera lui-même le bénéficiaire de la facturation. Ainsi, le client pourrait faire appel à une entreprise spécialisée dans la détection (comme les prestataires de détection canine) puis faire appel à un désinsectiseur pour le traitement. Cependant, ce mécanisme peut ne pas être attractif s'il existe des économies d'envergure entre le diagnostic et le traitement, autrement dit, s'il est moins coûteux de fournir le diagnostic et le traitement ensemble. Les économies d'envergure sont aussi appelées « économies de gamme » (Emons 2001; Dulleck et Kerschbamer 2006). Si ces économies sont faibles, alors la séparation est possible. En revanche, si ces économies sont élevées, alors la séparation ne peut pas fonctionner. Elle peut, certes, permettre de résorber une inefficacité (ici la fraude, l'aléa moral) mais peut en générer une autre (il est moins cher, dans ce cas-là, de fournir le diagnostic et la prestation de manière jointe que de manière séparée) (Balafoutas et Kerschbamer 2020). Dans le cas de la désinsectisation, le rythme de reproduction des punaises de lit et le désir des consommateurs d'éliminer rapidement ces

parasites pourraient générer des économies d'envergure entre le diagnostic et le traitement. Employer deux entreprises, une pour la détection et l'autre pour le traitement, peut de surcroît rallonger la durée d'infestation. Une coordination entre les deux entreprises, pourrait être nécessaire. Si cette coordination est gérée par le client, alors elle représente un coût supplémentaire pour ce dernier.

Cependant, dans le cas de la lutte contre les punaises de lit, les clients sont la plupart du temps dans une situation d'urgence, voire de détresse, et peuvent ne pas avoir le temps de demander un second avis ou de solliciter deux entreprises différentes pour le diagnostic et le traitement. Aussi, pour ce type d'intervention, ces stratégies des consommateurs peuvent s'avérer de portée limitée.

Toutes ces recherches ont un coût (monétaire et temporel) et, comme il a été indiqué, celui-ci impacte le comportement du consommateur. S'il est trop coûteux d'avoir un second avis, de vérifier les labels obtenus par l'entreprise et leurs valeurs, etc. alors le consommateur préférera ne pas faire de recherche sur les experts et leurs prestations. Il s'expose ainsi aux problèmes d'incitations générés par les attributs de croyance de la prestation. Il pourrait être judicieux de mettre en place des politiques de réduction du coût de recherche par les demandeurs (Punj et Staelin 1983). La présence de la page internet de la CS3D⁹⁷, qui regroupe l'ensemble des entreprises labellisées « Punaise de lit » (section 8.2.2.2.5), sur le site du Ministère de la transition écologique⁹⁸ œuvre dans ce sens. Il faudrait que cette page gouvernementale soit davantage mise en avant, à travers l'aide de publicité par exemple, afin d'informer les français de son existence et de la possibilité de trouver des experts d'une certaine qualité.

Il est à noter que les coûts financiers supportés par les particuliers dans le cadre de la lutte contre les punaises de lit ont aussi fait l'objet d'une analyse (voir section 9.4).

8.3.2 Les établissements d'hébergement touristique

Le tourisme et la mobilité facilitent l'expansion des punaises de lit. Les hébergements collectifs touristiques (hôtels, campings, villages de vacances, auberges de jeunesse, etc.) font face à ce problème et pourraient donc en être vecteur. L'apparition de plateformes de location de logements particuliers telles que AirBnB au milieu des années 2000 a augmenté l'offre d'hébergements touristiques dans des zones traditionnellement touristiques, et a aussi facilité la diffusion du tourisme dans des zones non couvertes par les hébergements collectifs touristiques (Gyödi 2019). Cette nouvelle forme de mobilité a ainsi contribué à accroître la pression du tourisme et pourrait donc avoir contribué à l'expansion des punaises de lit en France.

8.3.2.1 La demande potentielle du service par les établissements d'hébergement touristique

Faute d'autres données disponibles sur l'infestation des logements de tourisme par les punaises de lit, cette section se concentre sur les logements de tourisme proposés par les hôtels.

⁹⁷ <https://cs3d-expertise-punaises.fr/>

⁹⁸ <https://www.ecologie.gouv.fr/punaises-lit-letat-vous-accompagne>

Le parc hôtelier français de métropole est composé de 18 000 hôtels parmi lesquels 70 % sont classés et dont 17 046 (hors Mayotte) accueillent du tourisme (audition UMIH, Insee, 2022⁹⁹). Selon l'Insee¹⁰⁰, les douze départements qui accueillent le plus d'hôtels sont par ordre décroissant Paris (1 601), les Alpes-Maritimes (592), la Haute-Savoie (498), les Bouches-du-Rhône (463), le Var (433), la Savoie (430), la Gironde (324), les Pyrénées-Atlantiques (302), le Rhône (302), le Bas-Rhin (305), l'Hérault (287) et le Calvados (286).

Tous ces établissements sont autant de clients potentiels pour les professionnels de la lutte contre les punaises de lit. D'après les auditions réalisées, les hôtels accueillant des touristes internationaux ont plus de risques d'être infestés que les autres. Plus le nombre de touristes venant de l'étranger est élevé, plus la probabilité d'être infestée semble l'être également¹⁰¹ (Auditions de UMIH et GNI). Toutefois, aucune donnée quantitative sur les infestations de punaises de lit dans les hôtels n'est disponible. Les hôteliers ne fournissent que peu d'informations à ce sujet, afin de sauvegarder leur réputation et leur attractivité sur un marché compétitif où l'information circule vite par les clients potentiels des hôtels. Les effets de réputation pourraient leur être très vite défavorables ; les effets de réputation dans l'industrie de l'hôtellerie jouant un rôle important (Destination BC Corp. 2014).

8.3.2.2 Les infestations et les traitements mis en œuvre

Les hôtels font face à la situation délicate dans laquelle leurs clients sont des vecteurs potentiels de punaises de lit et donc de désagréments futurs pour leurs futures clientèles, pour leur réputation et *in fine* leurs profits, en cas d'introduction de l'insecte dans leur établissement.

Deux actions s'offrent aux hôtels pour éviter ces désagréments : agir avant une possible infestation ou agir en réaction à celle-ci.

Agir avant permettrait de limiter la propagation des punaises de lit. Les premières actions peuvent engendrer des frais de pré-intervention importants. D'après les auditions réalisées, les hôtels doivent, premièrement, mettre en place un nettoyage réfléchi afin d'éviter les risques de contamination des autres chambres et étages (éviter qu'un agent d'entretien face le ménage à plusieurs étages dans la journée, par exemple). Deuxièmement, afin de protéger leur réputation et d'éviter les infestations massives, les hôtels doivent investir dans la détection, en acquérant du matériel la facilitant (pieds de lit avec une protection antipunaise de lit, par exemple) ou en formant leurs personnels à la reconnaissance et à la recherche de punaises de lit. Il est toujours préférable, en matière de préservation de la réputation de l'établissement et de maîtrise des actions à mener, que l'infestation soit découverte par un membre du personnel que par un client. Contrairement aux particuliers et aux logements touristiques proposés par les plateformes, les chambres des hôtels sont vérifiées tous les jours par un personnel formé, permettant donc en principe une détection rapide. Toutefois, d'après les auditions menées, les punaises de lit ne sont découvertes seulement quand le lit est changé à blanc, c'est-à-dire quand la chambre d'hôtel va accueillir un nouveau client, car c'est à ce moment-là qu'est retirée l'alèse du lit. Ce retrait permet de repérer les punaises de lit plus facilement. Les hôtels peuvent également prendre des mesures qui leur permettraient d'éviter

⁹⁹ En 2023, l'Insee dénombre en France entière (hors Mayotte) 16 850 hôtels, 7 432 campings, 2 290 résidences de tourisme et hébergements assimilés, 885 villages de vacances et maisons familiales ainsi que 343 auberges de jeunesse, centres internationaux de séjour et centres sportifs.

¹⁰⁰ [Établissements d'hébergements touristiques en 2023 | Insee](#)

¹⁰¹ Les hôteliers interrogés précisent qu'il est plus probable qu'un touriste transporte des punaises de lit s'il a passé un séjour aux États-Unis avant de s'installer dans l'hôtel.

l'utilisation d'insecticides en cas d'infestation et de n'utiliser que la chaleur (section 7.1.6 ; auditions GNI). Le coût fixe de toutes ces mesures préventives peut être élevé : le sommier et le mobilier annexe au lit (mobilier en bois) ainsi que les matériaux de construction et de fabrication de la chambre et ses agréments (murs en bois, moquettes en laine, tissus, décoration) doivent être fabriqués en matériaux résistant à la chaleur (en bois par exemple), afin d'éviter qu'ils soient abîmés par la vapeur en cas de traitement.

La seconde série d'actions est mise en œuvre à la suite d'une détection de punaises de lit. Si des punaises de lit sont détectées, l'hôtelier fait alors appel à son propre prestataire¹⁰². Si l'hôtel a pris les mesures nécessaires afin d'éviter l'utilisation d'insecticides, alors la chambre infestée sera traitée à la vapeur pendant que les chambres adjacentes seront examinées et ne seront traitées qu'en cas d'infestation avérée. Si l'hôtel n'a pas fait de tels investissements, alors pour agir efficacement, la chambre infestée est souvent traitée avec les chambres annexes adjacentes (en face, au-dessus et au-dessous). Un hôtelier recherche rationnellement d'obtenir l'éradication de l'infestation à moindre prix. Le traitement privilégié est donc la plupart du temps un traitement chimique. Les hôteliers auditionnés rapportent un coût associé entre 600 euros et 3000 euros par traitement. Ces interventions impliquent une immobilisation de plusieurs chambres : 15 jours pour la chambre infestée et 3 jours pour les chambres annexes. Cette immobilisation entraîne une perte supplémentaire pour l'hôtelier, du fait du manque à gagner du non accueil de clients dans ces chambres sur la période de traitement. Ce coût est le plus important subi par l'hôtelier, d'après les auditions réalisées. Il n'a néanmoins pas pu faire l'objet d'une estimation dans ce rapport puisqu'il dépend du niveau de prix pratiqué par les hôteliers pour leurs chambres, qui varie très largement d'un niveau de gamme à l'autre. Parmi les autres pertes matérielles subies, les hôteliers auditionnés recensent : la perte du sommier, du matelas de la chambre infestée et des consommables de nettoyage qui sont jetés, le lavage à 60°C du linge de lit ainsi que des vêtements du personnel et la congélation du reste du matériel mobile. Il n'apparaît pas possible pour des raisons de disponibilité de trésorerie pour les hôteliers de provisionner un budget annuel en lien avec les infestations par les punaises de lit, afin d'absorber les coûts associés à une possible infestation.

Quant aux hôteliers, ils ne semblent pas sélectionner les désinsectiseurs en fonction des labels et certifications qu'ils peuvent détenir. Les actions, précédemment détaillées, visent la recherche en priorité l'éradication des infestations au moindre coût.

8.3.3 Les bailleurs sociaux

8.3.3.1 Caractéristiques des logements proposés par les bailleurs sociaux

Les bailleurs sociaux font régulièrement appel à des professionnels afin de gérer une infestation de punaises de lit, en raison des caractéristiques des occupants des logements de leur parc immobilier. En effet, les occupants des logements proposés par les bailleurs sociaux sont généralement à revenus relativement plus faibles que la moyenne de la population générale et peuvent par conséquent être plus enclins à la récupération ou l'achat d'articles de seconde main (encombrants et vêtements dans les friperies par exemple), ce qui peut accroître l'incidence d'une primo-infestation. De plus, les infestations par des punaises de lit peut être décelée plus tardivement que d'autres types de logements en raison de

¹⁰² Faisant régulièrement face aux punaises de lit, beaucoup d'hôtels semblent avoir conclu des contrats avec des professionnels d'après les auditions menées.

l'encombrement des logements sociaux qui peut s'expliquer par leur taille souvent modeste, notamment au regard du nombre de leurs occupants (audition UMIH).

Plusieurs types de parcs locatifs sont à distinguer. D'un côté, les parcs de logements conventionnés. Ces logements font l'objet d'une convention entre l'État et le propriétaire bailleur du logement qui donne droit à l'aide personnalisée au logement pour les locataires qui remplissent les conditions d'octroi. De l'autre côté, les parcs de logements non conventionnés. Ces logements appartiennent à des sociétés d'économie mixte de France métropolitaine dont les caractéristiques sont proches du secteur libre¹⁰³.

Au 1^{er} janvier 2021, les logements locatifs sociaux représentaient 15,6 % des résidences principales¹⁰⁴. Ce taux est plus important en l'Île-de-France et en Guyane (plus de 25 %) ainsi que pour les Hauts-de-France et la Réunion (plus de 20 %). Bien que les agglomérations de plus de 100 000 habitants ne représentent que 49 % du parc total de logements, les deux tiers du parc locatif social s'y situent et le loyer des logements sociaux y est plus élevé en moyenne¹⁰⁵. Ces logements sont principalement de l'habitat collectif. La part d'habitat collectif dans les logements sociaux est de 85 % sur le territoire national. Cette part est plus grande pour l'Île-de-France, la région PACA, la Guadeloupe, la Martinique et l'Auvergne-Rhône-Alpes. Cette part est beaucoup plus faible pour les Hauts-de-France et Mayotte où le taux est inférieur à 65 %. Les tailles des appartements proposés par les bailleurs sociaux sont variées (Figure 23).

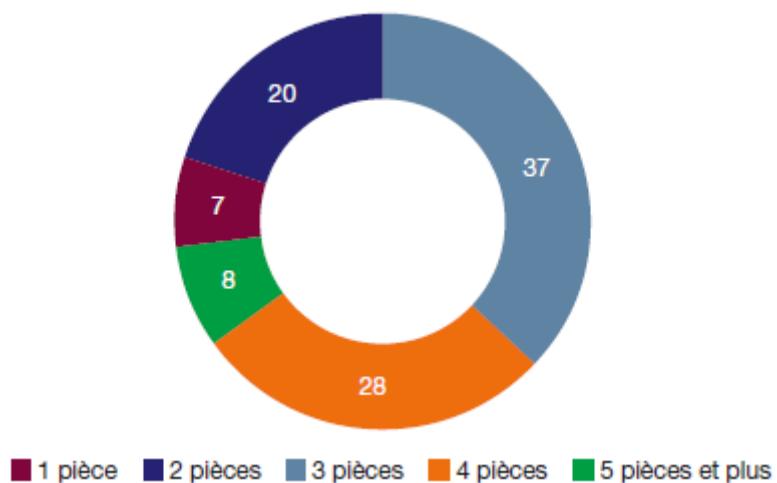


Figure 23 : Répartition des logements sociaux selon leur nombre de pièces (en %)

(Source : SDES, RPLS au 1^{er} janvier 2021)

Les logements non conventionnés peuvent avoir des caractéristiques différentes des logements conventionnés, ce qui pourrait avoir un impact sur le niveau d'infestation aux

¹⁰³ Ces définitions sont tirées du site internet du Ministère de la transition écologique : « Le parc locatif social au 1^{er} janvier 2021 » (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-locatif-social-au-1er-janvier-2021>).

¹⁰⁴ Le nombre de logements sociaux en France s'élève à 5,2 millions au 1er janvier 2021 d'après le site internet du Ministère de la transition écologique : « Le parc locatif social au 1^{er} janvier 2021 » (<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-locatif-social-au-1er-janvier-2021>).

¹⁰⁵ Le loyer moyen dépasse les 6 euros par m² (6,1 euro/m²) pour les agglomérations de 100 000 : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/le-parc-locatif-social-au-1er-janvier-2021>.

punaises de lit. Le rapport de l'Inspection Générale de 2020¹⁰⁶ présente les caractéristiques et la localisation des logements conventionnés et non conventionnés des trois bailleurs parisiens (Paris Habitat, RIVP et Elogie-SIEMP). Les logements non conventionnés proposés par ces bailleurs sont plus petits que les logements conventionnés qu'ils proposent (Figure 24).

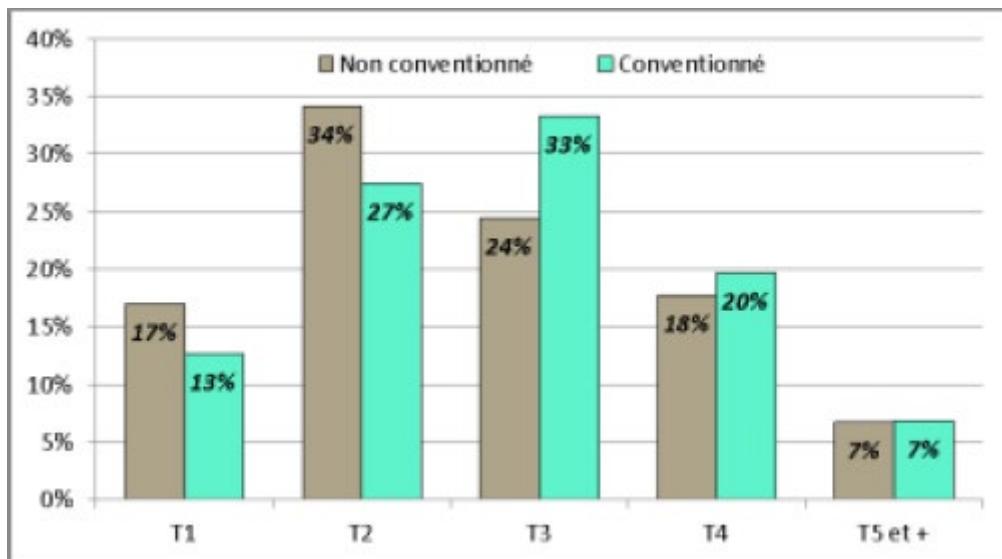


Figure 24 : Typologie des logements parisiens gérés par les bailleurs sociaux

Source : Inspection Générale de la Ville de Paris d'après données Bailleurs (Base Logements)

La mobilité des occupants est aussi un facteur d'infestation (cf. section 4). Or, à Paris, le taux de rotation des occupants d'un logement est plus élevé dans les logements non conventionnés que conventionnés¹⁰⁷. De manière générale, une étude plus approfondie des logements non conventionnés ainsi que des contrats mobilité (location de moins de 10 mois) au niveau national permettrait d'avoir une idée plus précise de la demande potentielle du service de désinsectisation dans certains départements et de mieux mesurer l'impact de la mobilité sur les infestations.

8.3.3.2 Critères de sélection des intervenants contre les punaises de lit

L'analyse présentée dans cette sous-section repose sur l'enquête auprès des bailleurs sociaux réalisée dans le cadre de la présente expertise (cf. Annexe 4) qui regroupe les réponses de 95 bailleurs. Parmi ces derniers, 72 ont affirmé avoir mis en place au moins un contrat avec des sociétés de désinsectisation, soit les trois quarts. Ces derniers sélectionnent leurs partenaires selon plusieurs critères.

Les bailleurs sociaux semblent faire autant attention au prix qu'à la qualité. Parmi les 72 entreprises se liant par un contrat avec un désinsectiseur, 58 ont répondu à la question « Quel est le poids attribué à chacun des critères suivants : prix, qualité » en donnant des proportions

¹⁰⁶ <https://www.paris.fr/pages/evaluation-inspection-generale-183> : Le parc non conventionné des bailleurs sociaux parisiens.

¹⁰⁷ Inspection Générale de la Ville de Paris, rapport novembre 2020 : *le parc non conventionné des bailleurs sociaux parisiens*

interprétables¹⁰⁸. Parmi ces bailleurs, 23 donnent plus de poids au prix, 24 à la qualité et pour 11 d'entre eux, la qualité vaut autant que le prix. La distribution du poids du prix parmi ces bailleurs sociaux semble identique à celle du poids de la qualité dans le choix du professionnel (Figure 25).

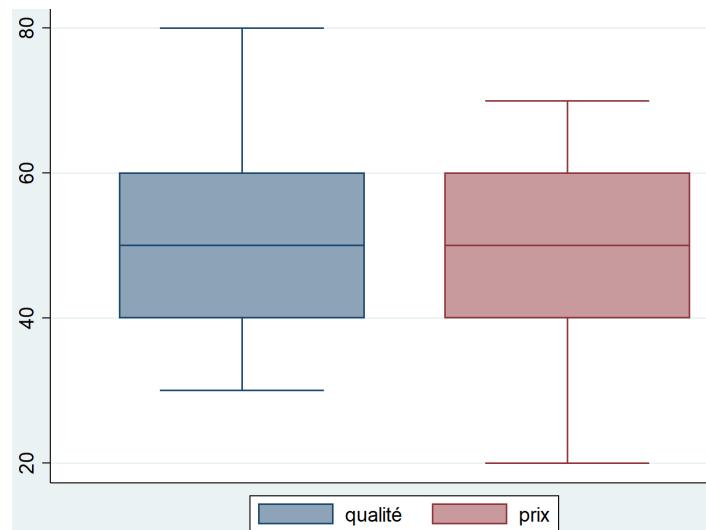


Figure 25 : Distributions des poids de la qualité et du prix dans le choix d'un professionnel de la lutte contre les punaises de lit pour les bailleurs sociaux

(Source : Enquête auprès des bailleurs sociaux (Annexe 4))

Parmi les 72 entreprises ayant mis en place un contrat avec au moins un prestataire, 65 ont mis en œuvre ces contrats à travers une procédure de mise en concurrence (appel d'offre). Parmi celles-ci, 63 donnent une importance aux méthodes de désinsectisation proposées par le prestataire quand elles le sélectionnent, 55 à sa disponibilité (délais d'intervention), 51 à ses agréments (labels et certificats), 46 aux éléments d'information que le prestataire fournit aux locataires (communication et sensibilisation), 42 aux références du prestataire, 41 à la taille de l'entreprise intervenante et 38 au nombre d'interventions par infestation. Le premier critère de sélection d'un prestataire par les bailleurs sociaux est donc les méthodes employées par le prestataire (45 % des 65 bailleurs sociaux précités), la disponibilité (17 %) et les agréments détenus par le prestataire (12 %). Parmi les 65 bailleurs sociaux, 63 ont un deuxième critère de sélection. Celui-ci est la disponibilité pour 29 % d'entre eux, les méthodes pour 29 % d'entre eux également et les agréments pour 9,5 % de ces bailleurs. Il semblerait donc, au vu des informations récoltées, que la sélection du prestataire par le bailleur social repose essentiellement sur les méthodes de désinsectisation et les délais d'intervention, ainsi que sur les agréments, dans une plus faible mesure. Cependant, il est à noter que, d'après les auditions réalisées, il semblerait difficile pour les petites entreprises de la désinsectisation de remporter l'appel d'offre lancé par un bailleur social en raison de leurs capacités financières inférieures aux grandes entreprises.

¹⁰⁸ A la question, la somme des poids respectifs devait être égale à 100 pour être interprétable.

8.3.4 Demandes potentielles et classements des départements

Le Tableau 21 récapitule les classements des départements selon différents critères caractérisant la demande potentielle pour le service de désinsectisation. Sont affichés les 12 premiers départements en matière de population générale, de densité de population, du nombre d'établissements de logements touristiques dans le département (du nombre d'hôtels plus précisément), du nombre de nuitées, de résidents étrangers, de proportion de résidents étrangers dans la population totale du département, du nombre de requêtes sur *Google Trends* portant sur les punaises de lit émis en 2022 et en 2019 au sein du département par rapport aux nombres de requêtes totales dans ce même département, du nombre de professionnels 3D (ayant pour code NAF 81.29A) et enfin de nombre de désinsectiseurs par habitant du département. Il apparaît que les départements avec la demande potentielle la plus forte (population, densité, tourisme, requêtes portant sur les punaises de lit sur Google) font aussi partie de ceux ayant la plus forte offre 3D. L'impossibilité de distinguer les activités 3D peut expliquer la présence de départements parmi ceux ayant le plus d'entreprises 3D bien qu'ils aient une faible demande potentielle de lutte contre les punaises de lit. Le fait que la Corrèze soit le département ayant le plus de professionnels 3D par habitant pourrait s'expliquer par la présence d'autres nuisibles ou par d'autres activités de la branche 3D.

Tableau 21 : Caractérisation de la demande potentielle et classement des départements selon différents critères de demande

Classement	Population	Densité	Nombre d'établissements de logements touristiques	Nombre d'hôtels	Nombre d'établissements par habitant	Nuitées	Nuitées de résidents étrangers	Proportion de résidents étrangers	Google Trends 2022	Google Trends 2019	Nombre de professionnels 3D intervenant sur tous les nuisants (dont les punaises de lit)	Nombre de professionnels 3D par habitant
1	Nord	Paris	Paris	Paris	Lozère	Paris	Paris	Paris	Seine-Saint-Denis	Creuse	Paris	Corrèze
2	Paris	Hauts-de-Seine	Savoie	Alpes-Maritimes	Corse-du-Sud	Hérault	Var	Haut-Rhin	Bouches-du-Rhône	Seine-Saint-Denis	Gironde	Alpes-Maritimes
3	Bouches-du-Rhône	Seine-Saint-Denis	Var	Haute-Savoie	Hautes-Alpes	Var	Alpes-Maritimes	Seine-et-Marne	Val-de-Marne	Bouches-du-Rhône	Bouches-du-Rhône	Cantal
4	Rhône	Val-de-Marne	Haute-Savoie	Bouches-du-Rhône	Haute-Corse	Vendée	Hérault	Côte-d'Or	Paris	Val-de-Marne	Seine-Saint-Denis	Paris
5	Gironde	Val-d'Oise	Alpes-Maritimes	Var	Savoie	Charente-Maritime	Gironde	Alpes-Maritimes	Rhône	Paris	Alpes-Maritimes	Pyrénées-Atlantiques
6	Seine-Saint-Denis	Essonne	Bouches-du-Rhône	Savoie	Hautes-Pyrénées	Gironde	Seine-et-Marne	Haute-Marne	Creuse	Var	Nord	Calvados
7	Hauts-de-Seine	Yvelines	Charente-Maritime	Gironde	Alpes-de-Haute-Provence	Pyrénées-Orientales	Landes	Marne	Hauts-de-Seine	Hautes-Alpes	Val-de-Marne	Eure
8	Loire-Atlantique	Rhône	Hérault	Rhône	Cantal	Landes	Bouches-du-Rhône	Bas-Rhin	Hautes-Alpes	Val-d'Oise	Haute-Garonne	Dordogne
9	Haute-Garonne	Nord	Gironde	Pyrénées-Atlantiques	Lot	Bouches-du-Rhône	Ardèche	Saône-et-Loire	Haute-Vienne	Hauts-de-Seine	Seine-et-Marne	Lot-et-Garonne
10	Yvelines	Bouches-du-Rhône	Vendée	Bas-Rhin	Ardèche	Alpes-Maritimes	Pyrénées-Orientales	Ardennes	Var	Essonne	Rhône	Corse-du-Sud
11	Pas-de-Calais	Alpes-Maritimes	Finistère	Hérault	Aveyron	Morbihan	Haute-Savoie	Vosges	Puy-de-Dôme	Haute-Corse	Var	Gironde
12	Seine-et-Marne	Seine-et-Marne	Pyrénées-Atlantique	Calvados	Dordogne	Finistère	Charente-Maritime	Drôme	Val-d'Oise	Rhône	Essonne	Seine-Saint-Denis

9 Évaluation économique des impacts induits par les infestations aux punaises de lit

9.1 Cartographie des acteurs

Afin de cadrer cet exercice d'évaluation, le GT a souhaité établir une cartographie des acteurs impactés par la problématique des punaises de lit et caractériser les impacts supportés par chacun d'entre eux. Pour ce faire, le GT s'est appuyé sur la littérature grise et académique disponible. Au regard de la faible disponibilité des données pour le périmètre français, le GT a complété ce travail de revue par la conduite d'auditions (voir section 2.2). Il a également pu s'appuyer sur des collectes de données spécifiques menées dans le cadre de la présente expertise (voir sections 2.3.1 et 2.3.2).

Cette section restitue le résultat de ce travail d'analyse et présente le périmètre de la démarche d'évaluation conduite ainsi que ses limites. Le temps imparti au traitement de cette dernière a en effet conduit le GT à ne mener une évaluation quantitative que pour une part restreinte des parties prenantes et des impacts identifiés, tandis que seule une caractérisation qualitative a pu être menée pour d'autres (voir section 9.1.5).

Le GT a identifié un nombre restreint de publications académiques anglo-saxonnes dressant un panorama qualitatif des acteurs touchés par la problématique des punaises de lit et les impacts associés (Hwang et al. 2005; Doggett et Russell 2008; Zorrilla-Vaca, Silva-Medina, et Escandón-Vargas 2015; Scarpino et Althouse 2019). Il n'a en revanche identifié aucune publication s'attachant à quantifier l'impact économique de ces nuisants à l'échelle d'une catégorie d'acteurs, d'un secteur économique ou d'une zone géographique donnés. Les publications identifiées soulignent la prépondérance des impacts affectant les ménages : les foyers infestés doivent en effet supporter des impacts en santé lié aux éventuelles complications des piqûres, des impacts en termes de santé mentale (voir section 5 mais aussi (Zorrilla-Vaca, Silva-Medina, et Escandón-Vargas 2015; Scarpino et Althouse 2019)), des impacts sur la santé induits par un usage inadapté des insecticides (Center for Diseases Control and Prevention 2011) ainsi que le coût de la lutte, ce dernier comprenant le coût lié à la mise en œuvre des traitements mais aussi au fait de se débarrasser des effets personnels infestés (Doggett et Russell 2008; Scarpino et Althouse 2019). Le secteur du logement, résidentiel comme de tourisme, est également désigné comme étant significativement impacté (Hwang et al. 2005; Doggett et Russell 2008). Concernant le secteur du logement résidentiel, la responsabilité de la mise en œuvre de la lutte et la charge des coûts associés font l'objet d'une répartition différente entre bailleur et locataire d'un pays et/ou d'une juridiction à l'autre (CNEV 2015). En fonction des politiques de régulation mises en œuvre, le bailleur peut également subir une perte de revenu liée à la vacance de son logement (e.g., induite par une politique de quarantaine ou d'information obligatoire sur l'historique d'infestation du logement (Xie et al. 2019)). Les hébergements touristiques apparaissent également comme significativement affectés, ces derniers devant supporter les coûts associés à la mise en œuvre d'une lutte curative mais également préventive, aux remboursements des séjours, aux éventuels contentieux ou encore supporter des pertes d'exploitation liées à la fermeture des chambres lors des traitements ainsi qu'aux éventuels effets de réputation (Scarpino et Althouse 2019). Doggett et Russell (2008) soulignent néanmoins l'hétérogénéité des mesures mises en œuvre et de la sévérité des impacts en fonction du type d'hébergement (*i.e.*, les mesures déployées

dans les auberges de jeunesse étant de moindre ampleur que celles mises en œuvre dans les établissements de plus grand standing). Ces derniers évoquent également les coûts liés au remplacement des équipements des chambres infestées (linge de lit, matelas, oreillers, mobilier, etc.). La littérature souligne également les impacts touchant les services de santé (hôpitaux, services d'urgence), ceux-ci subissant des coûts importants liés à la mise en œuvre de la lutte ainsi qu'une perte de capacité d'accueil (fermeture de lits pendant l'infestation et les traitements (Scarpino et Althouse 2019; Doggett et Russell 2008)). Enfin, Doggett et Russel (2008) mentionnent des infestations touchant le secteur du transport¹⁰⁹ et soulignent qu'une infestation peut intervenir dans une diversité de lieux importante (ex : cinéma).

Les publications disponibles et documentant ces éléments pour le périmètre français relèvent exclusivement de la littérature grise. Le GT a en particulier pu s'appuyer sur deux rapports récents : le rapport du CNEV (CNEV 2015) ainsi que le rapport Racon-Bouzon, produit dans le cadre d'une mission parlementaire et publié en 2020 (Racon-Bouzon et al. 2020). Le rapport du CNEV, dont l'élaboration s'est appuyée d'une part sur l'examen des sources documentaires accessibles (articles publiés, littérature grise, internet) et l'expérience propre des experts composant le groupe de travail, dresse une liste des parties prenantes et des impacts similaires à celle évoquée *supra* sur la base de la littérature anglo-saxonne (impacts en termes de santé et liés à la mise en œuvre de la lutte). Cette caractérisation est, là encore, qualitative. Le rapport du CNEV signale, lui aussi, la vulnérabilité du secteur touristique, en particulier celui de l'hébergement (e.g., hôtels, gîtes de montagne, ou de grande randonnée) : la forte fréquentation et un taux de rotation important sont en effet dénoncés comme étant des facteurs de risque d'infestation ; les auteurs dénoncent également un impact économique potentiellement significatif lié à la mise en œuvre de la lutte dans un contexte d'infestations répétées, mais sans fournir d'éléments quantitatifs. En marge de ces éléments, les auteurs mentionnent le secteur des transports en commun (train, avion) ainsi que celui de l'habitat collectif sans cependant caractériser la nature ni le niveau d'impact. Enfin, les éléments rassemblés dans le cadre du rapport Racon-Bouzon – basé sur l'examen des sources documentaires disponibles et des éléments tirés d'auditions – permettent de dresser un panorama qualitatif convergent. Cependant, les auteurs évoquent des impacts pour le secteur de la culture et du spectacle (salles de spectacle notamment), ce dernier n'ayant pas été évoqué dans les références présentées précédemment. Ce dernier rapport discute également largement la problématique en lien avec la répartition du coût de la lutte entre bailleur et locataire dans le contexte réglementaire actuel¹¹⁰ : la charge financière associée à la mise en œuvre des traitements contre les punaises de lit incombe principalement au bailleur, tandis que la prise en charge des frais « annexes » (remplacement de la literie, du mobilier et des effets personnels irrécupérables, des nuitées d'hôtel pour le relogement provisoire en cas de traitement chimique, etc.) ne fait pas l'objet d'une répartition claire. Dans ce contexte, les auteurs signalent également la mise en œuvre par certains bailleurs de dispositifs de récupération des dépenses associées à la mise en œuvre de la lutte par le biais des charges

¹⁰⁹ Dans le cadre de cette publication, les auteurs rapportent les résultats d'une enquête menée auprès d'un échantillon d'entreprises de désinsectisation. Ces dernières signalent que 5,8% des interventions recensées ont été réalisées dans des trains, 1,2% dans des bateaux (Doggett et Russel, 2008).

¹¹⁰ La loi ELAN a introduit en 2018 la punaise de lit dans le droit de l'habitat en intégrant l'absence d'infestation par des « espèces nuisibles et parasites » dans la définition d'un logement décent (article 142 de la loi ELAN modifiant l'article 6 de la loi n° 89-462 du 6 juillet 1989). Le bailleur est tenu de maintenir le logement en état de décence tout au long du bail et par conséquent de remédier à la présence de nuisibles ou parasites sauf s'il est en capacité de prouver que la cause de la non-décence est directement imputable au locataire, la charge de la preuve revenant en effet au bailleur (Racon-Bouzon, 2020).

locatives, celui-ci pouvant prendre la forme d'un accord collectif entre bailleurs et représentants des locataires (voir Annexe 4).

Les auditions et les données collectées dans le cadre de la présente saisine permettent de confirmer et de préciser la caractérisation des impacts liés aux punaises de lit pour le secteur du logement, en particulier collectif.

9.1.1 Les ménages

Concernant les ménages, les données issues de l'enquête en population générale permettent, comme évoqué à la section 2.3.1, de quantifier la prévalence des infestations par les punaises de lit intervenant au domicile des particuliers en France depuis 2017. Ainsi, 11,26% des individus enquêtés déclarent avoir été victime d'une ou plusieurs infestations au cours des cinq dernières années (4% ont été victimes de plusieurs infestations). Ces mêmes données d'enquête confirment **l'émergence d'impacts en termes de santé physique et mentale à la suite d'une infestation**, ceux-ci amenant une part des ménages à engager des dépenses de santé. **Certains individus victimes d'infestation se voient également prescrire un arrêt de travail** (voir section 9.3.3 pour plus de détail sur les impacts en santé humaine induits par les infestations et leur évaluation économique). Comme évoqué précédemment également, il est à noter que la prévalence des infestations varie fortement d'une région à l'autre, avec notamment une forte prévalence en Ile de France et en PACA. Les résultats de cette démarche d'enquête permettent par ailleurs de déterminer les méthodes de **lutte mises en œuvre par les particuliers et les coûts associés**. Ainsi, 55% des français ayant été victime d'une infestation à leur domicile au cours des 5 dernières années mettent en œuvre des actions de lutte par eux-mêmes et 50% font appel à un ou plusieurs professionnels¹¹¹. Il est à noter qu'une part importante des individus interrogés investissent une part de leur temps pour la mise en œuvre de la lutte contre les punaises de lit : 42% des français victimes d'une infestation au cours des 5 dernières années et ayant mis en place des actions de lutte ont pris du temps sur leur temps de travail tandis que 42% ont sacrifié une part de leur temps libre (Enquête en population générale). Les postes de dépense associés à la lutte sont de nature variée : traitements professionnels, achats de traitements en grande distribution, travaux de rénovation, perte d'effets personnels (« dommages collatéraux »), frais liés à un déménagement, etc. (Enquête en population générale). Une large majorité des individus interrogés (70%) déclarent avoir assumé les coûts liés aux traitements professionnels en intégralité¹¹², tandis que 34 % ont vu ces coûts pris en charge par leur propriétaire/bailleur (intégralement pour 19% et seulement en partie pour 15% d'entre eux) ;13% ont signalé avoir bénéficié d'une prise en charge par un organisme (prise en charge partielle dans 10% des cas et prise en charge intégrale dans 3% des cas) (Enquête en population générale). Concernant les autres postes de dépenses, 79% des ménages ont déclaré avoir assumé l'intégralité de ces coûts, tandis que 25% ont signalé avoir bénéficié d'une prise en charge par un organisme (prise en charge partielle dans 22% des cas et prise en charge intégrale dans 4% des cas). Les individus ayant bénéficié d'une prise en charge de leurs dépenses par un organisme, déclarent principalement avoir reçu cette aide de la Caisse d'allocations familiales (CAF) et de l'Agence nationale pour l'information sur le logement (ANIL). Dans un tiers des cas, cette aide provient d'un fonds de solidarité logement et d'une l'association de lutte contre le mal-logement (Enquête en population générale).

¹¹¹ Le total est supérieur à 100%, ces deux modalités pouvant être combinées.

¹¹² Certains de ces ménages sont propriétaires de leur logement et ne peuvent donc pas transférer le coût lié à la mise en œuvre des traitements.

Il est donc à noter que les ménages bénéficient de transferts sous la forme de subventions portant à la fois sur les dépenses de santé et les dépenses de lutte (pour une part d'entre eux seulement concernant ce second poste). Au regard des données collectées, ces subventions semblent principalement issues de fonds publics. Il est également à noter que les dépenses de lutte sont réparties entre bailleurs et locataires.

9.1.2 Le secteur du logement

Concernant le logement social, les organismes HLM ayant répondu à l'enquête ont confirmé être touchés par cette problématique. En 2021, parmi les 409 organismes interrogés exploitant 4,753 millions de logements sociaux, 39 ont réalisé un suivi des infestations par les punaises de lit au sein de leur parc immobilier et fourni des réponses cohérentes non nulles concernant le taux d'infestation de leurs parcs locatifs¹¹³. En moyenne, 4,4 % des logements de ces 39 organismes ont été infestés par les punaises de lit en 2021 (le taux médian s'élève à 1 %, le premier et le troisième quartile à 0,5 % et 1,8 % respectivement en 2021) (voir Annexe 4). Le niveau d'infestation observé est cependant hétérogène d'un organisme à l'autre : ainsi en 2021 près de 66,7 % des organismes interrogés déclaraient un taux d'infestation par des punaises de lit positif mais inférieur ou égal à 1 % sur l'ensemble de leur parc et seuls 20,5 % des organismes interrogés signalaient un taux d'infestation supérieur ou égal à 3 % (Tableau 22 voir aussi Annexe 4). Les données issues des auditions ainsi que de la démarche d'enquête ont confirmé que la charge financière de la mise en œuvre de la lutte contre les punaises de lit est majoritairement portée par les organismes HLM¹¹⁴. Cette charge comprend les dépenses induites dans la mise en œuvre de traitements – mécaniques et/ou chimiques – le plus souvent délégués à des professionnels de la désinsectisation (voir Annexe 4) mais elle peut également comprendre l'acquisition de matériel spécifique pouvant être mis à la disposition des locataires, la mise en œuvre de travaux de rénovation, un dédommagement financier pour la perte d'effets personnels, la prise en charge des frais de relogement ou encore l'affectation de tout ou partie du temps de travail de personnels de l'organisme au suivi de la problématique des punaises de lit (voir Annexe 4)¹¹⁵. L'un des bailleurs auditionnés a signalé l'absence de subventions d'État à destination des organismes HLM pour le financement de cette lutte (audition menée auprès de Paris Habitat). Enfin, les données issues des auditions et de la démarche d'enquête ont mis en évidence la mise en œuvre de dispositifs de récupération d'une partie des dépenses de lutte engagées par les organismes auprès des locataires. Cette récupération des charges n'est opérée que par une minorité des bailleurs interrogés (37 %, Enquête USH 2023, voir Annexe 4) et prend des formes hétérogènes : 17 % de ces derniers signalent encadrer cette récupération de charge par le biais d'un accord collectif et les 83 % restant signalent recourir à un autre type de dispositif (voir Annexe 4). Enfin, un représentant d'association fédérant les organismes HLM du Grand

¹¹³ Pour parvenir à ce calcul, sont exclues les réponses des bailleurs sociaux indiquant des taux d'infestation pour une année alors que le suivi a débuté plus tard ainsi que ceux indiquant un taux d'infestation négatif ou supérieur à 100% (considérées comme des valeurs aberrantes).

¹¹⁴ Cela a également été confirmé dans le cadre de l'audition menée auprès du département « Faune et action de salubrité » de la ville de Paris.

¹¹⁵ Le lecteur intéressé pourra consulter la liste détaillée des dépenses mises en œuvre dans la note d'analyse disponible en Annexe 4. Il est à noter que la nature et le montant de ces dépenses mises en œuvre varient d'un bailleur à l'autre. Cela peut notamment s'expliquer par le caractère peu clair de la législation relative aux responsabilités incombant respectivement aux bailleurs et locataires en ce qui concerne la prise en charge des impacts financiers induits par les infestations. Cette difficulté a notamment été soulignée dans le cadre de l'audition menée auprès de Paris Habitat.

Nancy a signalé travailler en partenariat avec des travailleurs sociaux dont le temps de travail est en parti consacré à l'accompagnement des ménages dans la lutte contre les punaises de lit (structures associatives et publiques).

Tableau 22 : Part des répondants ayant indiqué des infestations de leurs logements

Part x de logements infestés sur la totalité du parc	Part des répondants	
	2020	2021
0% < x < 1%	35,5 %	38,5 %
x = 1%	29 %	28,2 %
1% < x < 3%	19,4 %	12,8 %
x ≥ 3%	16,1 %	20,5 %
Total	100%	100%

Source : (Enquête USH 2023, voir Annexe 4)

Concernant le logement étudiant, des données complémentaires ont été collectées par le biais d'une audition du CNOUS. Celle-ci a permis de mettre en évidence des impacts pour ce secteur : la « problématique punaises de lit » a émergé en 2016/2017 pour atteindre un pic en 2019/2020. **Ce sont 3 800 et 3 600 logements qui ont été infestés en 2020 et 2021 respectivement (soit 2,2 % et 2,1 % du parc)**. Le nombre d'infestations a été signalé en léger déclin en 2022 par rapport aux années antérieures. **Les CROUS supportent entièrement la charge financière associée à la mise en œuvre de la lutte contre les punaises de lit**. Celle-ci comprend les dépenses induites par la mise en œuvre de traitements quasi exclusivement délégués à des professionnels de la désinsectisation¹¹⁶, les coûts de remise en état des locaux infestés ainsi que les coûts associés au relogement des occupants le temps du traitement. Des actions d'information à destination des étudiants sont également mises en œuvre dans un objectif de prévention/sensibilisation. **Les CROUS ne bénéficient d'aucune aide d'État spécifique à la lutte contre les punaises de lit. Par ailleurs, aucune récupération des dépenses associées à la lutte n'est mise en œuvre** par le biais des charges par les CROUS. Enfin, la précarité étudiante étant une cause nationale, **aucune augmentation de loyer n'est envisageable afin de compenser ces surcoûts**.

En marge de ces acteurs du logement collectif, le GT n'a pas été en mesure de mener des auditions ou des collectes de données auprès d'autres types de logements collectifs (ex : hébergement d'urgence, etc.) ni de propriétaires bailleurs.

Concernant le secteur du logement touristique, le GT a pu mener des auditions complémentaires pour le seul secteur hôtelier (voir section 2.2). Ces dernières ont permis de confirmer que l'ensemble du secteur est confronté au risque d'infestation par des punaises de lit. Cependant, aucune donnée quantitative permettant de qualifier l'étendue de ces infestations au sein de ce secteur n'est disponible. La mise en œuvre de démarches d'enquête dans cette perspective apparaît difficile étant donné notamment les enjeux de réputation et de concurrence forts associés à cette problématique (audition GNI). Les acteurs auditionnés ont par ailleurs souligné une forte hétérogénéité de la fréquence des infestations en fonction du

¹¹⁶ À ce jour, un seul CROUS a fait le choix de former ses équipes pour internaliser la prestation.

type d'établissement et de clientèle. Un facteur de risque commun identifié par ces derniers serait celui de la fréquentation des hébergements par une clientèle internationale. Concernant la mise en œuvre de la lutte par le secteur hôtelier, il apparaît qu'à ce jour aucun protocole de lutte commun n'a été défini à l'échelle des deux syndicats auditionnés¹¹⁷. Interrogés sur leurs propres pratiques, les acteurs ont donné à voir au GT des stratégies hétérogènes quant à la mise en œuvre de la lutte contre les punaises de lit et les coûts associés. Le degré de généréricité de ces pratiques pour l'ensemble du secteur est donc inconnu, celles-ci sont rapportées ici à titre illustratif. On observe d'une part une stratégie de lutte centrée autour de la lutte curative, impliquant la mise en œuvre de traitements chimiques conduits de façon systématique dans la chambre infestée ainsi que dans les chambres adjacentes (audition UMIH). La mise en œuvre de traitements chimiques préventifs a également été rapportée comme étant nécessaire dans certains établissements (hôtels à fort passage présentant une clientèle internationale arrivant par avion/train). Une infestation ne nécessite pas l'élimination du linge de lit, elle nécessite en revanche l'élimination du matelas et du sommier de la chambre infestée. Le caractère coûteux des traitements chimiques a été souligné. Néanmoins c'est le coût induit par l'immobilisation des chambres et les pertes d'exploitation associées qui a été désigné comme le plus important : la chambre infestée étant immobilisée quinze jours, trois jours pour les chambres adjacentes. Par ailleurs, il a été signalé qu'aucune récupération de ces coûts ne peut être opérée par le biais d'une hausse du prix des nuitées dans le contexte de concurrence actuel. On observe d'autre part une stratégie de lutte centrée sur la prévention des infestations via un investissement dans les outils de détection (audition GNI) et la mise en œuvre d'une lutte physique (plus particulièrement thermique) en cas d'infestation. Le représentant auditionné estime qu'il n'y a pas de freins financiers à la mise en œuvre d'un système de détection pour les établissements présentant un classement supérieur ou égal à trois étoiles. Le prix des nuitées pratiqué par ce type d'établissements le permet et il est financièrement pertinent de faire un tel investissement au regard des coûts élevés de la lutte curative ainsi que des enjeux d'image. Il est rapporté que, dans la plupart des cas, la lutte thermique permet de conserver la totalité des équipements dans les chambres infestées : il n'est donc pas nécessaire de se séparer du lit, sommier ou du linge de lit. Il a également été souligné que la mise en œuvre de traitements par la chaleur n'induit aucune perte d'exploitation, la chambre traitée pouvant être réoccupée immédiatement après le traitement (aucune rémanence ni toxicité contrairement aux traitements chimiques). Par ailleurs, la mise en œuvre de la lutte thermique est facilitée par l'utilisation de matériaux naturels ainsi qu'une simplification des équipements présents dans les chambres (*i.e.*, mobilier en bois, moquette en laine, linge de lit en fibres naturelles). Une telle démarche converge avec les démarches de modernisation, d'éco-responsabilité et de montée en gamme mises en œuvre à l'heure actuelle par les établissements haut de gamme. Les caractéristiques de ces établissements, en particulier leur bonne capacité d'investissement, font qu'il n'existe pas de frein à la modernisation et la mise en œuvre de telles évolutions sur les matériaux.

Ainsi, ces auditions permettent de caractériser de façon qualitative les impacts induits par les infestations par les punaises de lit sur le secteur hôtelier et de mettre en lumière une certaine hétérogénéité de ces derniers en lien avec les pratiques de lutte mises en œuvre. On peut

¹¹⁷ Néanmoins, le représentant du GNI auditionné signale que ce syndicat a mené une réflexion sur les différentes méthodes de lutte pouvant être mises en œuvre et dispose par ailleurs d'experts-relais sur la thématique pouvant accompagner les gestionnaires d'établissement victimes d'une infestation à la fois sur le plan psychologique et technique (diagnostic de l'infestation et de son ampleur, identification des méthodes de lutte pertinentes et mise en relation – si besoin – avec des sociétés spécialisées).

s'interroger sur l'origine de cette variabilité, notamment sur l'influence du niveau de classement des établissements.

9.1.3 Autres secteurs économiques

Le rapport Racon-Bouzon signalant un impact des infestations par les punaises de lit sur le secteur de la culture et du spectacle, le GT a pris contact avec les organisations professionnelles d'employeurs représentatives. Une seule réponse a été obtenue du Syndicat National des Producteurs, Diffuseurs, Festivals et Salles de Spectacle Musical et de variété (PRODISS). Ce dernier a signalé que la problématique des punaises de lit n'a à ce jour pas fait l'objet de remontées par ses adhérents.

Par ailleurs, aucune donnée n'a pu être collectée par le groupe de travail concernant le secteur des transports en commun ainsi que les salles de cinéma, secteurs pour lesquels le rapport Racon-Bouzon et al. (2020) signalait également un impact.

9.1.4 Acteurs publics, institutions, associations

L'audition menée auprès du département « Faune et action de salubrité »¹¹⁸ (DFAS) de la ville de Paris a permis d'une part de compléter le panorama dressé sur la base de la littérature quant aux **lieux publics susceptibles d'être touchés par une infestation par les punaises de lit**. Elle a permis d'autre part de mettre en évidence l'existence d'un **service public dédié à la lutte contre les nuisants présentant des enjeux de santé publique**¹¹⁹.

Ainsi, les infestations par les punaises de lit peuvent toucher une diversité de lieux publics : le DFAS est notamment amené à conduire des interventions de désinsectisation dans les bâtiments publics municipaux (mairies, gymnases) ainsi que les établissements scolaires (crèches, écoles maternelles, élémentaires, collèges, lycées). Les interventions réalisées dans ces deux types d'établissements représentaient respectivement 2,2 % et 3,4 % des interventions du DFAS en 2019.

En marge de ces interventions dans les espaces publics, le DFAS – dont 11 % de l'activité est consacrée à la problématique des punaises de lit – intervient gracieusement dans les locaux d'associations œuvrant dans le domaine de la lutte contre l'exclusion ainsi que chez les particuliers en situation de précarité (sur la base d'un justificatif), se trouvant dans l'incapacité de faire appel à un prestataire de désinsectisation privé. Ces interventions représentaient respectivement 3,9 % et 90,3 % des interventions réalisées par le DFAS en 2019. Par ailleurs les agents de la ville de Paris qui, dans le cadre de leurs activités verraien leur logement

¹¹⁸ Le département « Faune et action de salubrité » de la ville de Paris remplit des missions de conseil, d'expertise et d'intervention auprès des différents services de la Ville. Ce département appuie en particulier les élus et les autres directions confrontés à des risques sanitaires liés à la faune, en particulier les rongeurs et les insectes. A titre d'illustration, le DFAS a appuyé la direction de la propreté et de l'eau (DPE) dans mise en place d'une politique de gestion des déchets infestés et d'une procédure de déclaration/enlèvement des encombrants infestés par les punaises de lit. Le DFAS intervient de façon transversale en lien avec les problématiques des punaises de lit et au contact d'une diversité d'acteurs : usagers, gestionnaires des immeubles, gestionnaires d'établissements d'hébergements, administrateurs, etc.

¹¹⁹ Le budget annuel consacré par la Ville de Paris à la lutte contre les punaises de lit est compris entre 150 000 à 250 000 euros. Ce chiffrage correspond au coût des interventions (enquêtes et applications) mises en œuvre par le DFAS lui-même, celui-ci étant déterminé forfaitairement (en fonction du temps d'intervention et du nombre d'agents) et comprenant le coût lié à la main d'œuvre, aux produits et au déplacement. En revanche, ce budget ne comprend pas la prestation de détection canine ni la mise en œuvre du plan de lutte intégrée à l'échelle de la ville.

infesté, peuvent bénéficier d'une intervention gracieuse ou d'une indemnisation (plafond de 600 € par agent et par an). De plus, dans le cadre d'interventions menée en milieu scolaire, le DFAS met en œuvre une approche globale en intervenant également gracieusement chez les personnels ou familles victimes d'infestations secondaires. Le GT n'a pas été en mesure de déterminer l'existence de services analogues dont l'activité serait partiellement dédiée à la fourniture d'un service public de gestion de la problématique des punaises de lit. Il ne peut donc pas juger du niveau déploiement de ce type de service à l'échelle du territoire français. Néanmoins, l'audition conduite auprès du DFAS a permis d'identifier l'absence de réseau de réflexion et/ou d'action rassemblant des collectivités autour de la problématique des punaises de lit à l'échelle nationale.

Ainsi, l'État supporte à plusieurs titres les coûts induits par les infestations par les punaises de lit : d'une part en tant que financeur (subvention des dépenses de santé et des dépenses de lutte) **et d'autre part par le biais de lieux publics victimes d'infestations.** Dans ce cas, l'État doit principalement supporter les coûts directs liés à la mise en œuvre de traitements de désinsectisation. **Le temps consacré par les professionnels de santé et plus largement les agents publics investis dans la gestion de cette problématique constitue également un coût supporté par l'État.**

9.1.5 Synthèse

La Figure 26 ci-dessous synthétise le travail d'analyse réalisé par le GT sous la forme d'une cartographie des acteurs impactés par la problématique des punaises de lit. Celle-ci précise, pour chaque catégorie de partie prenante identifiée les impacts mis en évidence ainsi que les éventuels transferts de coûts existants d'une catégorie à l'autre.

En marge de ces éléments qualitatifs, une évaluation quantitative des impacts induits par les punaises de lit a pu être réalisée pour les secteurs et les types d'impacts suivants :

- les ménages :
 - coût associé aux effets sur la santé (consultations médicales, arrêts de travail et impacts sur la qualité de vie, cf. 9.3) ;
 - coût de la lutte (cf. section 9.4.1) ;
- logement collectif :
 - coût de la lutte pour les organismes HLM (cf. section 9.4.2) ;
 - coût de la lutte pour le logement étudiant (cf. section 9.4.3).

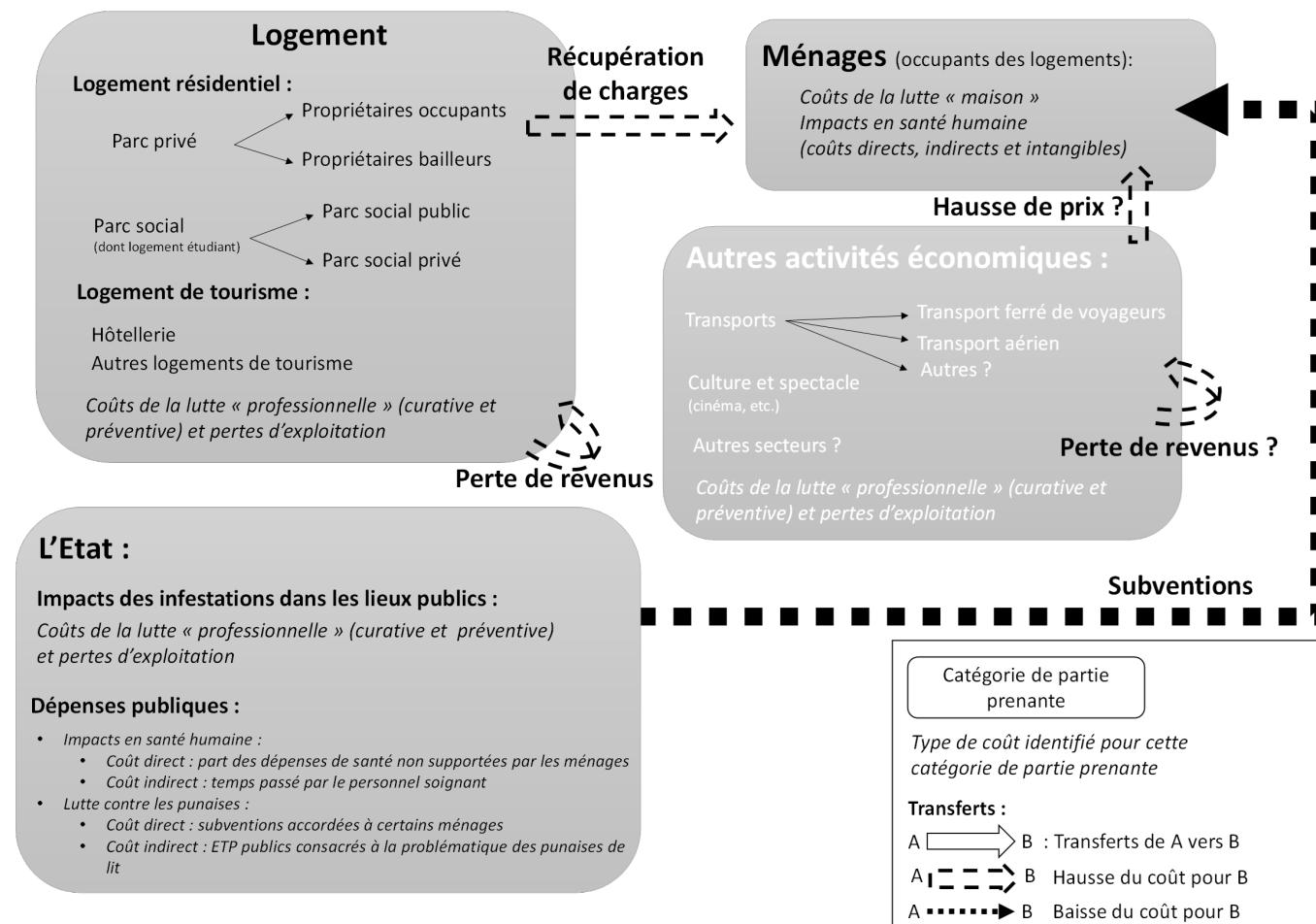


Figure 26 : Cartographie des acteurs concernés par la problématique des punaises de lit et des impacts associés

Note de lecture : les catégories représentées ne sont pas toutes exclusives. En effet les ménages propriétaires de leurs logements sont représentés d'une part dans la catégorie « logement » sous la désignation « propriétaires occupants » et d'autre part dans la catégorie « ménages (occupants des logements) ». Il s'agit par ailleurs d'une représentation schématique : à titre d'illustration et concernant la répartition des coûts associés à la mise en œuvre de la lutte, il est indiqué que les propriétaires assument le coût de la « lutte professionnelle » et les ménages celui de la « lutte maison » ; il s'agit cependant d'une tendance dont la répartition réelle des coûts peut parfois dévier.

9.2 Perspective adoptée par le GT pour l'estimation des coûts imputables aux punaises de lit

Comme évoqué à la section précédente, les infestations par les punaises de lit touchent une multitude d'acteurs en France (voir notamment Figure 26 de la cartographie *supra*) et induisent des impacts de nature variée : nécessité de la mise en œuvre d'une lutte (par les particuliers/acteurs eux-mêmes et en recourant au secteur de la désinsectisation) et émergence d'impacts en santé humaine. L'ensemble de ces impacts constituent le fardeau associé à la prolifération des punaises de lit et se traduisent en termes de coûts pour la société. Au-delà de l'identification des impacts, le GT a jugé pertinent de mener une évaluation de ce fardeau sur le plan économique dans une perspective d'aide à la décision publique et ce, à plusieurs titres. Cette évaluation permet d'une part, de donner à voir l'ampleur des impacts associés à cette problématique selon différentes métriques (dont économique) et de la mettre en regard avec les impacts induits par d'autres problématiques de santé publique. L'évaluation économique du fardeau peut d'autre part être mobilisée afin d'appuyer la réflexion sur la mise en œuvre d'actions de gestion du risque, en permettant une comparaison du fardeau et des coûts associés à ces actions sur un même plan monétaire. Un tel travail d'évaluation participe également à la réponse apportée à la « question 4 » de la saisine portant sur l'identification des bénéfices associés aux différentes méthodes de lutte, en particulier des bénéfices de santé publique. Le GT propose ici d'élargir le périmètre de cette question en identifiant et quantifiant sur un plan économique – dans la mesure du possible – l'ensemble des impacts induits par les infestations, qui aujourd'hui représentent des coûts : les coûts sanitaires pour ce qui est du fardeau sanitaire et les coûts de la lutte pour ce qui est du fardeau économique. Ces coûts actuels constituerait (au moins en partie) les bénéfices associés à d'éventuelles stratégies de lutte qui pourraient être mises en place¹²⁰. Aussi, une quantification plus complète des bénéfices nécessiterait d'identifier des scénarios de lutte et d'en évaluer les impacts à la fois en termes de bénéfices sanitaires (impacts et donc coûts évités), mais aussi en termes de coûts de mise en œuvre. **Un tel travail n'a pas pu être conduit dans le cadre du mandat du présent GT mais pourrait faire l'objet d'une future saisine.**

La suite de ce chapitre vise à exposer l'ensemble des approches mobilisables pour fournir une évaluation économique du fardeau induit par les infestations par les punaises de lit puis à présenter le positionnement du GT à cet égard, et les résultats des évaluations conduites au regard des données disponibles.

Il existe plusieurs méthodes et données d'ordre économique permettant de valoriser les impacts sanitaires et économiques imputables aux infestations par les punaises de lit. La nature des coûts et la manière de les valoriser sont influencées par le point de vue considéré par l'analyse économique. Il peut s'agir des coûts supportés par un individu malade, par l'Assurance Maladie, par une entreprise, ou bien par la société dans son ensemble. Dans le cas présent et comme évoqué précédemment, une infestation par des punaises de lit est susceptible d'avoir de multiples impacts sur une multitude d'acteurs. En fonction du point de

¹²⁰ En effet, on peut faire l'hypothèse que la mise en œuvre d'une stratégie de lutte alternative ou complémentaire aux pratiques en place à l'heure actuelle permettrait d'éviter la réalisation des impacts associés aux punaises de lit au moins en partie. A titre d'illustration, une stratégie de lutte qui permettrait la réduction de l'incidence des infestations induirait dans un même temps une réduction des impacts en santé humaine ainsi que du coût de la lutte. L'analyse économique étant fondée sur une approche comparative, les impacts futurs évités se traduisent sous forme de coûts actuels et constituerait les bénéfices (ou coûts évités) d'une telle stratégie comparativement à la situation actuelle.

vue adopté, le périmètre des coûts peut varier (Aïchi et Husson 2015). La présente évaluation étant menée dans une perspective d'aide à la décision publique, cette dernière est conduite d'un point de vue sociétal (Haute Autorité de Santé 2020). Ce positionnement permet de tenir compte des coûts à la fois pour les individus victimes d'infestation (e.g., coûts sanitaires et coûts de la lutte contre les punaises supportés par la population générale), pour les acteurs sollicitant une intervention de lutte (coûts de la lutte par les particuliers mais aussi des opérateurs tels que les hébergements touristiques ou les bailleurs sociaux), ainsi que de leur éventuelle redistribution (prise en charge d'une part des coûts sanitaires par l'Assurance Maladie, d'une part des coûts de la lutte par des organismes de financement publics, etc.).

Pour valoriser ces différents impacts et définir la nature des coûts à évaluer, plusieurs approches peuvent être mobilisées, telles que l'approche financière ou l'approche économique :

- **l'approche financière** recherche une valorisation en attribuant une valeur monétaire à des postes de coût au travers des transactions financières établies sur un marché. Dans une optique financière, en économie de la santé, deux types de coûts sont distingués : des coûts directs, tels que la prise en charge des soins médicaux, et des coûts indirects, tels que les pertes de productivité ou de production quand les individus ont une activité salariée empêchée du fait de la maladie (voir section 9.3.2 et en particulier 9.3.2.2 pour plus de détails). L'approche financière se base sur la logique marchande et les coûts sont évalués sur la base de prix observés sur un marché. Dans cette approche peuvent aussi être inclus les coûts liés à la lutte contre les infestations des punaises de lit que peut constituer une politique de santé publique.
- **l'approche économique** se place dans le contexte de la collectivité gérant un bien public (par exemple, la santé publique) et comprend des coûts plus larges que l'approche marchande. Elle inclut par exemple, en plus des coûts directs et indirects, des coûts intangibles relatifs aux impacts d'une maladie sur la qualité de vie (ou le bien être) des individus et leur disposition à payer (DAP) (ou consentement à payer¹²¹, CAP) pour un traitement ou pour éviter la maladie. L'évaluation de ces coûts est plus délicate car elle ne se fonde pas sur l'observation de prix de marché mais des évaluations de coûts fondées sur un grand nombre de facteurs, dont principalement les préférences individuelles, les besoins temporaires, les revenus, les prix d'autres biens et la répartition des richesses. Ces coûts sont donc par nature moins "observables" et moins "tangibles" et on parle alors de valeur économique de biens et services non-marchands¹²².

C'est ici un point sur lequel les deux branches de l'économie de la santé et de l'économie de l'environnement peuvent se trouver en résonance et vont être utiles dans le cadre de l'évaluation économique des impacts induits par les infestations aux punaises de lit : celui de l'évaluation, à l'échelle d'une société, des bénéfices de politiques environnementales et/ou de santé publique. Partant du fait que les coûts de l'inaction (ici les coûts imputables aux infestations des punaises de lit) en ces domaines, pour reprendre les termes d'une publication de l'OCDE en 2008 (Scapecchi 2008), deviennent en partie ou en totalité les bénéfices de la mise en place, justement, d'actions ciblées en ces domaines, on peut ici faire apparaître les différents bénéfices à partir du schéma ci-dessous.

¹²¹ Consentement à payer : montant maximal qu'un individu serait prêt à payer pour obtenir un bien.

¹²² Pour plus de détails sur les méthodes d'évaluation des DAP, se reporter au rapport de l'Anses sur le coût sanitaire de l'Ambroisie [AVIS et RAPPORT de l'Anses relatif à l'impact sanitaire et coûts associés de l'ambroisie à feuilles d'armoise en France](#); Pour plus de détails sur les méthodes d'évaluation des coûts directs, indirects et intangibles, se reporter à la section 9.3.2.

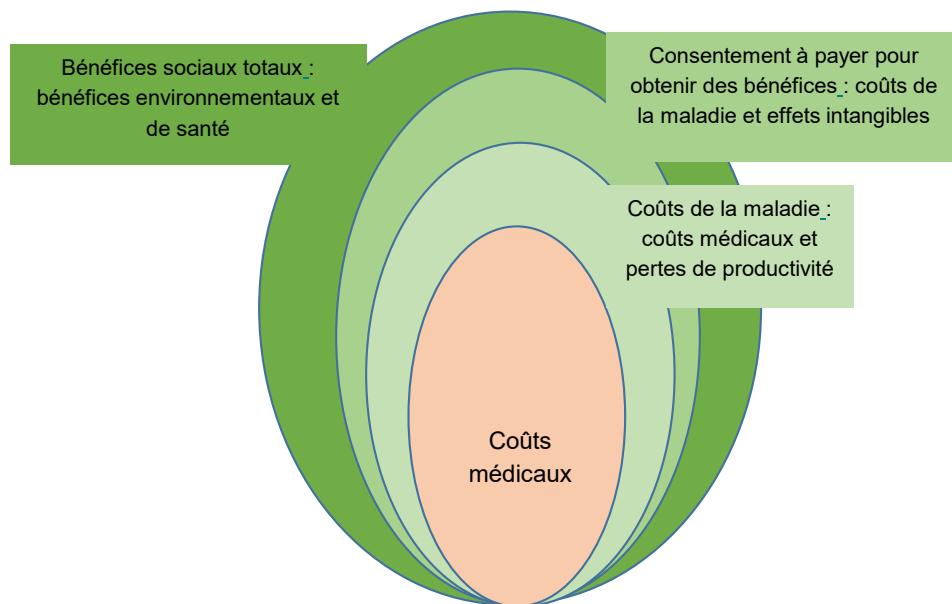


Figure 27 : Bénéfices des politiques de santé publique ou environnementales

(Source : d'après Scapecchi (2008))

Dans le cadre de la présente expertise, portant sur une problématique de santé publique, le GT a choisi de mener l'évaluation du fardeau selon une approche économique. Comme évoqué précédemment, cela implique de valoriser des impacts marchands et non-marchands.

Les résultats de l'évaluation monétaire de ces impacts pourront dans un second temps être remobilisés, le cas échéant, dans le cadre d'une analyse coûts-bénéfices. Ainsi, à un moment donné, toute dépense engagée dans une politique publique en matière d'environnement et/ou de santé va constituer pour la société un "coût social" et une telle politique satisfera au critère coûts-bénéfices si les "bénéfices sociaux" sont supérieurs - ou *a minima* égaux - à ce "coût social". Les bénéfices ainsi évalués monétairement de la manière la plus précise permettront donc aux décideurs publics de prendre une décision, ou éventuellement de préciser l'échelle de l'action envisagée pour atteindre le respect de cette règle. On comprend ici l'intérêt que peut représenter une évaluation monétaire la plus précise possible des dépenses de prévention qui pourraient être engagées, surtout si, dans ce cadre, ces dépenses sont comparées aux bénéfices induits pour la société, représentée ici par l'ensemble des individus victimes de la nuisance dans leur environnement, et attendus par la mise en œuvre de cette politique.

9.3 Évaluation économique du fardeau sanitaire

9.3.1 Principes généraux de l'évaluation économique du fardeau sanitaire

Mener une évaluation économique du fardeau sanitaire consiste à quantifier la charge – exprimée sous forme d'un coût – générée par une pathologie spécifique (e.g., fardeau sanitaire associé au cancer du sein) ou un phénomène induisant plusieurs effets sur la santé (e.g., pathologies induites par une exposition à un air intérieur pollué) **à l'ensemble de la société**. Une infestation par des punaises de lit pouvant induire la survenue de plusieurs effets sur la santé (voir section 5), cette expertise se place dans le second cas de figure. Aussi, réaliser

une évaluation économique du fardeau sanitaire nécessite d'avoir accès à plusieurs types de données « d'entrée » :

- tout d'abord, avant de procéder à tout exercice d'évaluation économique d'un fardeau, il est nécessaire d'identifier pour chaque pathologie le nombre de cas directement attribuables au phénomène étudié. Cela implique de disposer, d'une part, de données épidémiologiques relatives aux effets sur la santé considérés (données de prévalence¹²³ ou d'incidence¹²⁴) ainsi que de la fraction de risque attribuable¹²⁵ relative au phénomène étudié ;
- sur cette base, il s'agit ensuite de quantifier les coûts associés à ces effets de santé pour les cas estimés selon une approche économique (voir section 9.2). Comme indiqué *supra*, ces coûts peuvent être décomposés en trois catégories : directs, indirects, intangibles, toutes les trois considérées pertinentes dans le cadre de la présente expertise (voir également Tableau 23 pour une illustration) ;
- **coûts directs** : couvrant les coûts directs médicaux et coûts directs non médicaux. Les coûts directs médicaux comprennent les coûts résultant du traitement médical de la maladie (Clément, Le Pen, et Barnay 2010). Les coûts directs non médicaux correspondent aux coûts induits par la prise en charge médicale hors médication et actes médicaux en eux-mêmes (transport personnel jusqu'aux lieux de soin par exemple). L'évaluation des coûts directs médicaux apparaît pertinente dans le cadre de la présente expertise au regard des effets induits par une infestation sur la santé des personnes qui en sont victimes (voir section 5) ;
- **coûts indirects** : relatifs aux pertes de productivité, ces coûts sont également considérés comme pertinents dans le cadre de la présente expertise au regard de la prescription d'arrêts maladie qu'observe l'étude PULI (Blanchon et al. 2020) ;
- **coûts intangibles** : relatifs à une perte de qualité de vie des victimes, ces coûts apparaissent d'intérêt pour l'analyse à réaliser dans la présente expertise au regard des effets induits par une infestation sur la santé mentale (perte de sommeil, impacts émotionnels et effets psychologiques).

L'ensemble de ces coûts doit être valorisé au coût d'opportunité¹²⁶ (LePen et Lévy 2018).

Après le choix du type de coûts à retenir pour l'évaluation économique du fardeau sanitaire, il est également nécessaire de définir un horizon temporel identique pour l'ensemble des coûts considérés : le fardeau sanitaire peut par exemple être mesuré à l'échelle d'une année ou de la survenue de l'effet de santé jusqu'au décès.

¹²³ Prévalence : données relatives au nombre total de cas d'une pathologie sur une période de temps donnée.

¹²⁴ Incidence : données relatives au nombre de nouveaux cas d'une pathologie survenant sur une période de temps donnée.

¹²⁵ Coste et Spira (1991) définissent la fraction de risque attribuable comme « la proportion de cas de la maladie qui seraient évités si l'exposition considérée était supprimée ».

¹²⁶ Le coût d'opportunité correspond à la valeur des avantages perdus et qu'on aurait pu avoir par le meilleur usage alternatif d'une ressource. Le coût d'opportunité est bien mesuré par les prix de marché lorsque ceux-ci résultent d'un jeu libre de l'offre et la demande.

Tableau 23 : Illustration des différents types de coûts associés aux effets de santé, d'après Jo (2014)

Coûts directs	<u>Médicaux :</u>	<u>Non-médicaux :</u>
	<ul style="list-style-type: none"> • Hospitalisation (hôpitaux, maisons de retraite, soins palliatifs, rééducation, etc.) • Soins à domicile • Prestations de soin par des professionnels de santé : <ul style="list-style-type: none"> ◦ Consultations médicales (médecin généraliste et spécialiste) ◦ Soins auxiliaires (soins infirmiers, kinésithérapie, etc.) ◦ Etc. • Tests en laboratoire • Imagerie • Transport en ambulance • Traitements médicamenteux (prescrits et non prescrits) • Prévention : formation, sensibilisation, éducation à la santé, vaccination, prophylaxie 	<ul style="list-style-type: none"> • Services sociaux • Coûts de transports • Dépenses supplémentaires (garde d'enfant, aide à domicile, etc.)
Coûts indirects	<ul style="list-style-type: none"> • Pertes de productivité liées à la morbidité ou la mortalité • Temps de loisir perdu • Temps passé par les aidants 	
Coûts intangibles	<ul style="list-style-type: none"> • Perte de qualité de vie (morbidité) • Années de vie perdues (mortalité) 	

Positionnement du GT :

Les effets de santé induits par les infestations par les punaises de lit étant de courte durée (voir section 5), il apparaît pertinent de raisonner à l'échelle d'une année. Néanmoins, le GT souligne l'incertitude relative à la durée des effets émotionnels et psychologiques associés aux infestations. Une analyse de sensibilité devra donc être menée pour ces effets.

9.3.2 Méthodes mobilisables pour l'évaluation des différents types de coûts retenus

9.3.2.1 Évaluation des coûts directs

Concernant les coûts médicaux, en France comme dans de nombreux pays, le prix des traitements est négocié entre le fabricant et l'État. Aussi, les données de tarification reflètent mal les coûts d'opportunité. Dans ce contexte, selon les recommandations de la Haute Autorité de Santé (2020), les coûts directs des traitements doivent préférentiellement être évalués à l'aune de leur coût de production (meilleure approximation du coût d'opportunité), ce dernier pouvant être déterminé par le biais d'études de *micro-costing*¹²⁷. En l'absence de telles données, on s'appuie néanmoins sur des données de tarification, éventuellement ajustées à la mise en œuvre de dépassements d'honoraires. Recourir aux données de tarification est pertinent pour une analyse réalisée dans une perspective sociétale ou collective puisqu'elles

¹²⁷ La méthode de *micro-costing* consiste à calculer le coût de production d'une intervention par le biais de « l'identification, la mesure et la valorisation des ressources associées à l'intervention » (équipements, personnels, dispositifs médicaux, etc.) (HAS, 2020). La HAS recommande une valorisation des ressources sur la base des coûts unitaires de production en France et à défaut sur la base des tarifs français.

permettent de prendre en compte le coût total des soins dont la prise en charge est répartie entre l'assureur social et le patient qui supporte le reste à charge (LePen et Lévy 2018).

Positionnement du GT :

Sous réserve de disponibilité de données de prise en charge dans le cadre d'un parcours de soin, le coût direct associé à la prise en charge des effets sur la santé induits par les infestations aux punaises de lit pourrait donc être **monétarisé à l'échelle populationnelle** selon le procédé suivant, mobilisé dans le cadre du rapport Anses relatif aux « impacts sanitaires et coûts associés à l'ambroisie à feuille d'Armoise en France » (Anses 2020) :

$$\text{Coût annuel de la prise en charge} = \sum_i n_i \times c_i$$

Avec :

- n_i : le nombre d'individus présentant un effet de santé i directement attribuable à une infestation par des punaises de lit (ex : lésion cutanée, dégradation du sommeil, etc.) ;
- c_i : le coût moyen individuel de la prise en charge sur une année (en € courant) pour un effet de santé i .

Comme souligné dans le rapport Anses cité *supra* (Anses 2020), une telle approche devrait, dans la mesure du possible, rendre compte des disparités individuelles (niveau d'atteinte, observance thérapeutique) et contextuelles (disponibilité d'une offre de soins, hétérogénéité des stratégies thérapeutiques) en termes de prise en charge. Cela implique de rendre compte de l'hétérogénéité du coût moyen individuel de la prise en charge en fonction des facteurs évoqués *supra* notamment. Dans le cas de la présente expertise, on peut notamment s'interroger sur l'influence du niveau et de la durée de l'infestation sur ce paramètre.

9.3.2.2 Évaluation des coûts indirects

Les coûts indirects correspondent aux pertes de productivité liées à la morbidité (absence au poste de travail ou capacité de production réduite par l'état de santé) ou à la mortalité (Tarricone 2005; Jo 2014). La perte de temps libre / de loisirs induite par un accroissement du temps consacré aux soins constitue également une part du coût indirect de la maladie (Audibert 2009). Ces coûts sont supportés par les individus affectés eux-mêmes, leurs aidants, leur employeur en cas d'activité salariée et l'Assurance Maladie (en fonction des modalités de versement des indemnités journalières). Plusieurs approches existent pour quantifier et valoriser ces pertes de productivité :

- **la méthode du capital humain**, fondée sur le principe du coût d'opportunité, elle consiste à évaluer les pertes de productivité induites par un phénomène de morbidité/mortalité affectant un individu à partir de la valeur actualisée nette de ses revenus futurs, consistant en son salaire brut augmenté des cotisations sociales de l'employeur (Drummond et al. 2015), en faisant l'hypothèse que ces revenus sont un indicateur de la valeur de sa productivité future (Tarricone 2006). Cette méthode repose sur l'hypothèse qu'un employé ne peut pas être remplacé même si le taux de chômage est significativement élevé. Le capital humain est donc une méthode qui surestime les coûts indirects associés aux pertes de productivité. Par ailleurs, cette évaluation des pertes de production ne concerne que le secteur salarié dans lequel la rémunération du facteur travail peut être mesurée de façon isolée (Sultan-Taïeb, Tessier, et Béjean 2009). La méthode du capital humain permet également de valoriser le temps de loisir perdu en recourant, dans ce cas de figure, au salaire net (LePen et Lévy 2018) ;

- **la méthode des coûts de friction** (FCM) pallie le manque de réalisme de la méthode du capital humain (Inca et Amalric 2007). Contrairement à cette dernière, la méthode FCM considère qu'un individu malade peut être remplacé soit par l'embauche d'une personne au chômage, soit par un effort accru des autres collaborateurs, et ce jusqu'au retour ou remplacement de l'individu affecté. Selon cette méthode, les coûts induits par la maladie – les coûts de friction – correspondent aux coûts de recrutement et de formation ainsi qu'aux pertes de production ayant lieu entre la cessation d'activité d'une personne et son remplacement par une personne au chômage, cette période étant définie comme la « période de friction ». Cette méthode estime un coût inférieur à celui de la méthode du capital humain, étant donné que la FCM suppose que les perturbations ou la déficience ne sont que temporaires et n'impacteront pas la productivité totale après la période de friction.
- Ce type de coût peut également faire l'objet d'une évaluation à partir du recueil du consentement à payer (voir section 9.3.2.3).

Le Pen et Lévy (2018) soulignent que le coût du temps consacré à la mise en œuvre du traitement de la maladie par les malades et les aidants devrait intégrer l'estimation des coûts directs, ce dernier constituant également un *input* du traitement de la maladie. Cependant, le GT n'a pas identifié de données pertinentes sur ces aspects concernant les infestations des punaises de lit.

Positionnement du GT :

Sous réserve de disponibilité des données sur les arrêts de travail induits par les infestations par des punaises de lit, **le GT opte pour une approche par le capital humain**. Les coûts indirects associés aux pertes de productivité pourraient alors être évalués de la manière suivante :

$$\text{Coût annuel de la perte de productivité} = n \times d \times s_{bj}$$

Avec :

- n : prévalence annuelle des arrêts de travail induits par les infestations par des punaises de lit ;
- d : durée moyenne d'un arrêt de travail en jours ;
- s_{bj} : salaire brut journalier moyen (en € courants).

Une telle méthode induit cependant une surestimation du coût indirect d'un point de vue collectif, car elle revient à faire l'hypothèse que l'absence est remplacée par une ressource rémunérée à un salaire horaire identique. Or, comme évoqué précédemment, une absence au poste de travail peut être compensée par un effort accru des collaborateurs ou ne pas nécessiter de compensation : dans ces deux cas de figures, le coût lié à l'absence pour l'employeur est plus faible¹²⁸.

¹²⁸ Une approche alternative mise en œuvre dans le rapport Anses (2020) consiste à mobiliser les indemnités journalières versées par l'Assurance Maladie dans le cadre de la méthode des coûts de friction. Les auteurs de ce rapport soulignent que « le marché du travail [(et l'organisation des entreprises)] anticipe l'absence d'employés dans un sens statistique. Au regard du fait que la société française n'est pas au plein emploi, elle ne subit pas de perte de production liée à l'allergie à l'ambroisie hors des cas suivants : artisans, professions libérales, personnes au foyer, etc. (de façon générale, les personnes qui ne peuvent pas être facilement remplacées). » Dans ce cas de figure, le rapport avance que les dépenses de sécurité sociale mises en œuvre pour indemniser les personnes salariées mesurent effectivement les coûts indirects sous la forme de coûts de friction.

9.3.2.3 Évaluation des coûts intangibles

Les coûts intangibles se réfèrent aux effets négatifs de la maladie sur la qualité de vie. De nombreuses méthodes ont été élaborées afin de caractériser un état de santé, notamment au travers de questionnaires standardisés génériques (tels que l'EQ-5D-3L/5L (The EuroQol Group 1990) ou le SF-36 (Ware et Sherbourne 1992)) ou spécifiques à une pathologie. Cet état de santé peut alors être traduit en préférence de l'individu vis-à-vis d'un état de santé donné, par rapport à d'autres états de santé. Dans cette approche, l'utilité associée à la qualité de vie est notée dans un intervalle compris entre 0, correspondant à un décès, et 1 lorsqu'un individu présente une parfaite santé. Ce raisonnement peut s'appliquer dans des contextes de mortalité tout comme de morbidité. La combinaison de ces situations peut conduire à la détermination d'un indicateur sanitaire. En économie de la santé, le QALY (pour *quality-adjusted life year* traduit en français par « année de vie pondérée par la qualité ») est utilisé dans ce but alors que le DALY (pour *disability-adjusted life years*, traduit en français par « années de vie ajustées sur l'incapacité ») est privilégié pour témoigner du poids d'un fardeau sanitaire à une échelle populationnelle.

Ces indicateurs (coefficients) sanitaires peuvent être valorisés sur le plan économique en mobilisant la valeur statistique d'une vie ou la valeur d'une année de vie statistique. Des approches économiques ont été développées afin d'estimer ces valeurs la valeur statistique d'une vie ou d'une année de vie statistique. Comme l'indique le Collège des économistes de la santé dans sa recommandation n°17 (Lévy et De Pouvourville 2003), la valeur de la vie humaine peut se mesurer de deux façons : selon l'approche dite du capital humain (par le calcul du revenu *per capita* actualisé sur l'espérance de vie de la population française) et selon l'approche de la théorie du bien-être (par la valorisation faite par les individus des années de vie gagnées ; voir également (Raimond et al. 2016)).

En France, pour l'investissement public, particulièrement dans le domaine du transport et du carbone, des valeurs tutélaires ont été fixées à la suite du rapport de la commission Quinet (Quinet 2013). Celles-ci sont des valeurs consensuelles et non des estimations statistiques au sens classique ; elles ne sont pas accompagnées d'intervalles de confiance. Elles proviennent d'une compilation interprétative de la littérature internationale qui prend certaines positions dont, entre autres, le taux d'actualisation à utiliser et le fait que la valeur soit présentée de manière inconditionnelle (sans référence à l'âge ou à d'autres facteurs sociodémographiques). Ces valeurs font référence pour certains investissements publics et semblent donc adéquates pour les présents travaux¹²⁹.

Positionnement du GT :

Sous réserve d'un niveau de confiance suffisant quant à l'imputabilité des effets de santé considérés et de disponibilité de données (en particulier relatives à la perte de qualité de vie et la durée de l'effet de santé), l'approche suivante – elle aussi mobilisée dans le cadre du rapport Anses mentionné *supra* (Anses 2020) – pourrait être mise en œuvre dans l'évaluation des coûts intangibles :

¹²⁹ D'autres méthodes d'estimation de valeurs de référence ont été développées pour juger la valeur du gain en santé dans le cadre d'une évaluation en économie de la santé. Toutes présentent des limites, dans leurs fondements théoriques, leur faisabilité ou leur mise en œuvre dans l'aide à la décision (Raimond et al. 2016).

$$\text{valeur perte qualité de vie} = \sum_i n_i \times \delta_i \times \frac{\beta_i}{365} \times VAV$$

Avec :

- n_i : le nombre d'individus présentant l'effet de santé i ;
- δ_i : l'écart entre une qualité de vie optimale (égale à 1) et la qualité de vie présentée pour l'effet de santé i ;
- β_i : la durée en jours de l'effet de santé ;
- VAV : la valeur d'une année de vie en bonne santé. La donnée de référence utilisée dans le cas présent est la valeur tutélaire d'une année de vie en bonne santé fixée par la Commission Quinet (2013) à 131 000 € 2018, soit 132 449 € 2019.

Cette approche revient à valoriser monétairement un DALY « simplifié » quantifiant uniquement les années de vie vécues en incapacité, c'est-à-dire avec une qualité de vie moindre. Sur la base des données recueillies dans la littérature on considère en effet que l'exposition aux punaises de lit n'induit pas de décès et donc que le DALY associé ne comprend pas d'années de vie perdues.

9.3.3 Résultats de l'évaluation économique des impacts sur la santé des infestations par les punaises de lit

9.3.3.1 Estimation du nombre de cas attribuables aux infestations par les punaises de lit

Comme évoqué *supra*, réaliser une évaluation économique du fardeau sanitaire nécessite d'identifier au préalable le nombre de cas directement attribuables aux infestations par les punaises de lit pour chaque effet de santé d'intérêt. De façon générale, le GT a fait le constat d'un faible nombre d'études disponibles dans la littérature fournissant une relation quantitative de type exposition-risque (dose-réponse, risque relatif ou *odds-ratio*) décrivant les liens entre l'exposition aux punaises de lit et l'émergence des différents effets de santé décrits dans en section 5.

Les seules données épidémiologiques relatives aux infestations par les punaises de lit que le GT a pu identifier pour la France sont celles produites dans le cadre de l'étude PULI (Blanchon et al., 2020). Il s'agit d'une étude observationnelle prospective menée entre mars 2019 et avril 2020 auprès d'un échantillon de 217 médecins généralistes libéraux de France issus du réseau Sentinelles. Cette étude avait pour objectif principal d'estimer le nombre annuel des cas vus en consultation de médecine générale et présentant des symptômes ou des signes cliniques supposés (par le praticien) en lien avec les punaises de lit en France métropolitaine. Ainsi, **Blanchon et al. (2020) estiment ce nombre à 71 925 consultations par an (un intervalle de confiance à 95 % est fourni pour cette estimation : [60 606 ; 83 244]). Seules 79 % de ces consultations ont pour motif principal les punaises de lit, soit 56 812 consultations par an (95 % IC : [47 879 ; 65 763]).** La combinaison de ce résultat sur l'incidence du nombre de consultations et des données de description des cas en termes de fréquence de divers effets de santé d'intérêt (potentiellement cumulés, cf. Tableau 24, colonnes 1 et 2) permet de déduire une estimation du nombre de cas incidents pour chaque type d'effet. **Estimant que – dans le cadre de cette enquête – la relation entre l'exposition aux punaises, le fait de recourir à un médecin généraliste et l'émergence des différents effets de santé décrits est assez robuste, le GT s'est basé sur les résultats de l'enquête PULI pour mener une évaluation économique du fardeau sanitaire.**

Tableau 24 : Nombre annuel de cas incidents pour chaque effet de santé induit par une infestation aux punaises de lit (d'après Blanchon et al. (2020), p16)

Effet de santé	% de cas	Nombre de cas annuels
Lésions cutanées	98%	70 487
Insomnies apparues ou aggravées	39%	28 051
Détresse psychologique au cours des 4 dernières semaines	27%	19 420
Dégradation de l'état psychologique liée aux punaises de lit	15%	10 789

En marge de ces données épidémiologiques identifiées dans la littérature, le GT s'est doté de questions spécifiques dans l'enquête qu'il a conduite en population générale, afin de discuter la couverture de l'étude PULI. Aussi, les participants à la seconde phase de l'enquête en population générale ont été interrogés sur le fait d'avoir consulté un professionnel de santé à la suite de l'infestation. Soixante-six pourcent des individus interrogés ont signalé avoir consulté un professionnel de santé. Au sein de cette sous-population, 26 % a consulté uniquement un médecin généraliste et 23 % ont consulté au moins un autre professionnel de santé en complément d'un médecin généraliste¹³⁰ (voir également Figure 28). De plus, 51 % de cette sous-population a indiqué avoir consulté un ou plusieurs professionnels de santé sans recourir à un médecin généraliste¹³¹.

Les résultats issus de cette enquête en population générale présentent un niveau de fiabilité toutefois moindre que ceux issus de l'enquête PULI, du fait qu'il s'agit d'une enquête déclarative auto-administrée en ligne alors que l'enquête PULI a été menée en face à face et conduite par un médecin au cours de la consultation. L'enquête Ipsos est par ailleurs conduite sur un horizon temporel plus large (5 ans *versus* 1 an pour l'enquête PULI). Néanmoins – si l'on fait l'hypothèse qu'en proportion les comportements sont similaires entre les deux horizons temporels considérés – cette mise en perspective suggère que le périmètre de l'enquête PULI ne permet de capter qu'une partie du recours au soin. Cela suggère par conséquent une incidence des consultations auprès de professionnels de santé mais aussi de cas symptomatiques induits par une infestation par des punaises de lit plus importante que celles estimées à partir de l'enquête PULI.

¹³⁰ Les autres professions de santé renseignées étaient : pharmacien, allergologue, dermatologues et psychologue.

¹³¹ En particulier, 29 % des individus ayant consulté un professionnel de santé ont signalé s'être rendu chez un médecin spécialiste (allergologue ou dermatologue) sans recourir à un généraliste. Le recours aux médecins spécialistes étant en France très largement conditionné par le « parcours de soin », on peut s'interroger sur ce type de comportements.

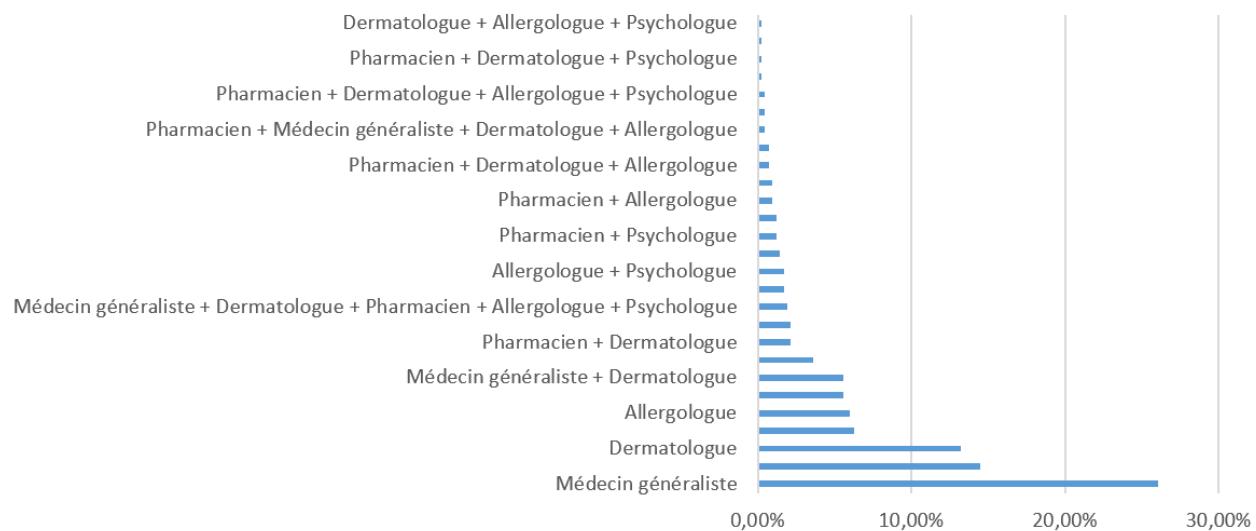


Figure 28 : Distribution des consultations rapportées entre professions de santé (source : Auteurs à partir de l'Enquête en population générale)

9.3.3.2 Évaluation des coûts sanitaires directs

Pour rappel, le coût direct correspond aux ressources – médicales et non médicales – utilisées pour et directement attribuables au traitement d'un effet de santé (voir section 9.3.2.1). Sur la base des données recueillies par le GT, il est possible de déterminer le coût direct annuel associé aux consultations de médecine générale. En effet, bien qu'il soit possible de déterminer un nombre annuel de cas incidents pour différents types d'effets de santé à partir des résultats de l'étude PULI (voir Tableau 24) et que cette dernière fournit également des données relatives à la prise en charge médicamenteuse des cas vus en consultation (voir section 5), il n'est pas possible de caractériser avec précision cette prise en charge (en particulier en termes de coût moyen). L'étude PULI ne fournit pas d'informations sur la durée des effets de santé observés et peu sur leur étendue. Par ailleurs, aucune information sur la durée et la posologie des traitements n'est communiquée¹³². Enfin, comme évoqué à la section 5, la littérature démontre une forte hétérogénéité des effets de santé développés par les individus exposés, de leur caractère cumulatif, de leur évolution et des besoins de traitements associés. Aussi, il n'existe pas de traitement spécifique ou parcours de soins « type » associé à une infestation par des punaises de lit sur lequel s'appuyer pour fournir une évaluation du coût direct.

Sur la base de ces éléments, **le coût direct annuel associé aux consultations de médecine générale en France métropolitaine** est calculé de la manière suivante :

$$\text{Coût annuel associé aux consultations de médecine générale} = I \times 25\text{€}$$

$$\text{Coût annuel associé aux consultations de médecine générale} = 1\,798\,125 \text{ €}$$

Avec :

- I : incidence annuelle des cas vus en consultation de médecine générale (effectif) ;

¹³² Les auteurs de l'étude PULI ont par ailleurs signalé qu'une estimation de la durée des traitements et de la posologie associée à dire d'expert n'est pas réalisable.

- Ici $I = 71\ 925$ (sur la base des consultations moyennes par an issues de Blanchon et al. (2020))
- Ou $I = 56\ 821$ (sur la base des consultations par an ayant pour motif principal les punaises de lit)
- 25 € : tarif conventionnel d'une consultation chez un médecin généraliste en France métropolitaine (en euros courant de 2019)¹³³

Ainsi, le coût direct annuel associé aux consultations de médecine générale relatives aux infestations par des punaises de lit en France métropolitaine s'élevait à 1 798 125 € pour la période d'étude considérée (mars 2019 - avril 2020) sur la base de $I = 71\ 925$. Une mesure de l'incertitude peut être fournie pour cette estimation en s'appuyant sur l'intervalle de confiance établi dans le cadre du rapport PULI relativement à l'incidence des consultations (IC 95 % : [1 515 150 €; 2 081 100 €], euros courant de 2019). Si l'on considère uniquement les consultations motivées principalement par les punaises de lit ($I = 56\ 821$), ce coût direct est de 1 420 525 € (IC 95 % : [1 196 969 € ; 1 644 069 €], euros courant de 2019).

Au regard des résultats de l'enquête en population générale dans le cadre de cette saisine (voir section 9.3.3.1 et Figure 28), cette valeur consiste vraisemblablement en une sous-évaluation des coûts directs induits par les infestations par les punaises de lit. En effet, ces derniers montrent que les individus impactés engagent des dépenses de santé en marge des consultations réalisées auprès de médecins généralistes. **Le GT a donc souhaité compléter l'évaluation des coûts directs associés aux consultations de médecine générale par une évaluation des coûts directs associés au recours à d'autres spécialités médicales.** L'exercice a consisté à procéder par extrapolation des données issues de l'étude PULI sur la base des résultats de l'enquête en population générale (voir en particulier Figure 28). D'après les résultats de cette dernière enquête, seules 49 % des personnes impactées ayant eu recours à un professionnel de santé se sont tournées vers un médecin généraliste (consultation unique ou en combinaison avec d'autres spécialités médicales). **On peut donc en déduire une incidence annuelle des consultations auprès de professionnels de santé toutes spécialités confondues** (y compris pharmaciens et psychologues) : **sous réserve de comportements homogènes en termes de recours à un professionnel de santé entre les deux enquêtes**¹³⁴, on estime l'incidence annuelle à 146 318 consultations par an (IC à 95 % : [123 292 ; 169 344])¹³⁵. Vingt-neuf pourcent (29 %) de ces recours concernent une autre spécialité médicale que la médecine générale, tandis que 22 % de ces recours concernent un professionnel de santé non médecin (i.e., pharmacien ou psychologue).

Dans ce contexte, **le GT a choisi de n'évaluer que le coût direct associé aux consultations en médecine**, faute de données de tarification pour les psychologues et en l'absence d'information sur la prise en charge résultant d'une visite en pharmacie. **Par ailleurs, le GT a**

¹³³ Source : <https://www.ameli.fr/val-de-marne/medecin/exercice-liberal/facturation-remuneration/consultations-actes/tarifs/tarifs-generalistes/tarifs-metropole consulté le 18/11/2022> ; ce tarif est en vigueur depuis le 1^{er} mai 2017 et est appliqué par 94 % des médecins généralistes sans dépassement d'honoraria (Assurance maladie, 2021).

¹³⁴ Pour rappel, l'enquête en population générale menée dans le cadre de cette expertise considère un horizon temporel de cinq ans alors que l'étude PULI considère une période d'un an.

¹³⁵ L'incidence annuelle des consultations auprès de professionnels de santé toutes spécialités confondues (y compris pharmaciens et psychologues) est déterminée par extrapolation des résultats de l'étude PULI par le biais d'une simple règle de trois : $146\ 318 = 71\ 925/0,491566265$.

choisi de ne considérer que le coût direct de la première consultation, déterminé de la façon suivante. Lorsque l'on observe un recours à un médecin généraliste en combinaison avec d'autres spécialités médicales (cf. Figure 28), l'hypothèse est faite que la première consultation a eu lieu chez le généraliste (le coût direct associé à ces consultations a été déterminé *supra*). Lorsque l'on observe le recours à un ou plusieurs types de médecins spécialistes sans recours à un médecin généraliste, une seule consultation chez un spécialiste est prise en compte (dans ce cas on considère un tarif de consultation de 30 € identique pour toutes les spécialités hors dépassements d'honoraires).

Ainsi, le coût direct annuel associé aux consultations de médecine de spécialité hors médecine générale en lien avec une infestation par des punaises de lit en France métropolitaine s'élèverait à 1 269 265 € pour la période d'étude considérée (mars 2019 - avril 2020) sur la base de $I = 42 309$ ¹³⁶. Une mesure de l'incertitude peut être fournie pour cette estimation en s'appuyant sur l'intervalle de confiance établi dans le cadre du rapport PULI relativement à l'incidence des consultations (IC 95 % : [1 069 518 € ; 1 469 012 €], euros courant de 2019). Si l'on considère uniquement les consultations motivées principalement par les punaises de lit ($I = 33 424$)¹³⁷, ce coût direct serait de 1 002 719 € (IC 95 % : [844 919 € ; 1 160 519 €], euros courant de 2019).

Au total, le coût direct annuel associé aux consultations en médecine associés à des infestations par des punaises de lit en France métropolitaine s'élèverait à 3 067 390 € (IC 95 % : [2 584 668 € ; 3 550 112 €], euros courant de 2019) pour la période d'étude considérée (mars 2019 - avril 2020). Si l'on considère uniquement les consultations motivées principalement par les punaises de lit, ce coût direct est de 2 423 238 € (IC 95 % : [2 041 887 € ; 2 804 588 €], euros courant de 2019). Soixante-six pourcent (66 %) de ce coût est pris en charge par l'Assurance Maladie ; les 34 % restant constituant le reste à charge sont supportés par les ménages¹³⁸.

9.3.3.3 Évaluation des coûts sanitaires indirects

L'évaluation des coûts indirects peut s'appuyer sur les résultats de l'étude PULI, cette dernière fournissant parmi les données relatives à la prise en charge des cas vus en consultation de médecine des informations concernant la prescription d'arrêts de travail. Cette prise en charge a concerné 2 % de l'échantillon (Blanchon et al. 2020) (cf. Tableau 24). Extrapolée à l'échelle nationale selon la même approche que précédemment, cela équivaut à une incidence annuelle d'arrêts de travail en lien avec une infestation par des punaises de lit de 1 438 arrêts de travail par an (IC 95 % : [1 212 ; 1 665]). La durée moyenne d'un arrêt de travail était de 6,25 jours tandis que les durées minimales et maximales étaient d'un et 14 jours respectivement¹³⁹.

- En s'appuyant sur la méthode évoquée à la section 9.3.2.2 (méthode du capital humain) et la mobilisation du salaire brut journalier, le coût annuel moyen associé à ces arrêts de travail est de 1 295 998 € (euros courant de 2019 ; 95 % IC :**

¹³⁶ La différence constatée entre la valeur renseignée ici et le résultat de l'opération $I = 0,29 \times 146 318$ est liée à la mise en œuvre du calcul de I sur la base de valeurs non-arrondies.

¹³⁷ Là aussi, la différence constatée entre la valeur renseignée ici et le résultat de l'opération $I = 0,29 \times 56 821$ est liée à la mise en œuvre du calcul de I sur la base de valeurs non-arrondies.

¹³⁸ Trente pourcent (30 %) du coût associé à la consultation peut être pris en charge éventuellement par la complémentaire santé et les 4 % restant, correspondant à une participation forfaitaire, sont supportés exclusivement par le ménage.

¹³⁹ Informations non publiées fournies par les auteurs du rapport PULI.

- [1 092 423 € ; 1 500 473€]) pour la période d'étude considérée (mars 2019 - avril 2020)¹⁴⁰ ;
- Si l'on considère uniquement les consultations motivées principalement par les punaises de lit, le coût annuel moyen associé à ces arrêts de travail est de 1 023 838 € (euros courant de 2019 ; 95 % IC : [863 014 € ; 1 185 374€]) pour la période d'étude considérée (mars 2019 - avril 2020).

Comme pour les coûts directs évalués à la section précédente, les résultats de l'enquête en population générale réalisée dans le cadre de cette saisine suggèrent que cette valeur représente une sous-évaluation des coûts indirects associés aux arrêts de travail en lien avec les infestations par les punaises de lit. En effet, ces derniers montrent que parmi les individus ayant eu recours à un professionnel de santé en lien avec une infestation, 56 % d'entre eux déclarent avoir bénéficié d'un arrêt de travail (Enquête en population générale). La durée moyenne de ces arrêts est également plus importante que celle constatée dans le cadre de l'étude PULI (9,6 jours).

Par ailleurs et comme évoqué précédemment, le GT n'a pas évalué le coût du temps consacré à la mise en œuvre des traitements des effets de santé induits par les infestations par les malades et leurs aidants.

9.3.3.4 Évaluation des coûts sanitaires intangibles

Au regard de la nature des effets de santé induits par des infestations par les punaises de lit (*i.e.*, troubles du sommeil, impacts émotionnels et psychologiques) et leur impact sur la qualité de vie, le GT considère pertinent d'évaluer les coûts intangibles associés.

Dans cette tâche, le GT s'est cependant heurté à plusieurs obstacles en termes de disponibilité des données explicités ci-après. Malgré ces limitations, le GT a souhaité développer une approche calculatoire, afin de fournir un ordre de grandeur des coûts intangibles associés aux impacts sur la qualité de vie induits par les infestations par les punaises de lit. Cet ordre de grandeur est établi sur la base d'un certain nombre d'hypothèses dont les limites sont discutées dans la section suivante.

D'une part, le GT a fait le constat d'un faible nombre d'études disponibles dans la littérature fournissant une relation quantitative de type risque-exposition (*i.e.*, établissement de relations dose-réponse, risque relatif ou d'*odds-ratios*) décrivant les liens entre l'exposition aux punaises de lit et l'émergence des effets de santé précités. En effet, seuls Susser et al. (2012) fournissent des *Oddsratios* pour l'anxiété, les troubles du sommeil et les symptômes dépressifs sur la base d'une étude menée au Canada. Comme évoqué précédemment, les effets émotionnels sont par ailleurs décrits de façon hétérogène dans la littérature). En l'absence de ce type de données, le GT s'est appuyé sur les résultats de l'étude PULI et l'estimation du nombre de cas attribuables aux infestations par les punaises de lit pour chaque effet de santé d'intérêt proposée dans le Tableau 24. Par ailleurs, le GT s'est heurté à un manque de données relatives à la durée des effets de santé étudiés. Dans ce contexte,

¹⁴⁰ Ce calcul est basé sur une journée de travail de 7 heures et un salaire brut horaire moyen correspondant à celui du secteur privé et des entreprises publiques en France. Le montant de celui-ci était de 20,6 euros en 2019 (voir « Les salaires dans le secteur privé et les entreprises publiques en 2019 », page Insee.fr, dernière consultation 28/10/2022). Si l'on considère les indemnités journalières de l'Assurance maladie dans la perspective du système de santé (d'un montant de 45,01 euros par jour en 2019), le coût annuel associé à ces arrêts de travail est alors de 404 527 € (euros courant de 2019 ; 95 % IC : [340 985 € ; 468 352€]) ; source : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5429152?sommaire=5418718> consultée le 23/11/2022.

l'évaluation des coûts intangibles a été menée en considérant une durée des effets de santé égale à la durée moyenne d'une infestation telle que mesurée dans le cadre de l'enquête en population générale menée dans le cadre de la présente expertise (seconde phase de l'enquête) : celle-ci est de 1,93 mois soit 58,73 jours. Une dernière difficulté a consisté à déterminer les coefficients d'incapacité (les DALY, cf. section 9.3.2.3) correspondant à chacun des effets de santé évalués en l'absence d'une parfaite correspondance entre les effets de santé qualifiés dans le cadre de l'étude PULI et les données de la littérature. Les correspondances établies ainsi que les coefficients d'incapacité intégrés dans les calculs sont présentés dans le Tableau 25 ci-dessous : il est proposé d'approcher l'impact sur la qualité de vie relatif à une insomnie apparue ou aggravée par le biais du coefficient d'incapacité établi pour l'insomnie primaire, et l'impact relatif à l'émergence d'une détresse psychologique ou une dégradation de l'état psychologique à la suite d'une infestation par le biais du coefficient d'incapacité établi pour des troubles anxieux légers.

Tableau 25 : Effets de santé mentale et coefficients d'incapacité intégrés dans l'approche calculatoire

Effets de santé mentale qualifiés par l'étude PULI	Effets de santé considérés dans l'approche calculatoire	Coefficient d'incapacité intégré dans l'approche calculatoire (DALYs)	Source
Insomnies apparues ou aggravées	Insomnies primaires	0,1	World Health Organization (2004)
Détresse psychologique au cours des quatre dernières semaines	Troubles anxieux légers	0,03	World Health Organization (2020)
Dégradation de l'état psychologique liée aux punaises	Troubles anxieux légers	0,03	World Health Organization (2020)

En s'appuyant sur la méthode évoquée à la section 2.3. et l'ensemble des hypothèses explicitées supra, le coût annuel associé à ces impacts sur la qualité de vie serait de près de 79,1 millions d'euros¹⁴¹ (euros courant de 2019) pour la période d'étude considérée (mars 2019 - avril 2020).¹⁴² De façon similaire à l'évaluation des coûts directs et indirects, une mesure de l'incertitude peut être fournie pour cette estimation en s'appuyant sur l'intervalle de confiance établi dans le cadre du rapport PULI relativement à l'incidence des

¹⁴¹ On obtient ce résultat en appliquant la formule suivante : $valeur\ perte\ qualité\ de\ vie = \sum_i n_i \times \delta_i \times \frac{\beta_i}{365} \times VAV$ et en considérant n_i égal à 28 051 cas annuels d'insomnie apparue ou aggravée, 19 420 cas annuels pour lesquels une détresse psychologique a été constatée au cours des quatre dernières semaines ainsi que 10 789 cas annuel ayant présenté une dégradation de leur état psychologique. On affecte à chacune de ces valeurs un coefficient d'incapacité δ_i de 0,1, 0,03 et 0,03 respectivement. On considère une durée de l'effet de santé β_i égal à 58,73 jours ainsi qu'une valeur de l'année de vie en bonne santé VAV égale à 132 449 € 2019.

¹⁴² Ce coût se monte à 145,4 millions d'euros si l'on considère que l'émergence d'une détresse psychologique et la dégradation de l'état psychologique peuvent être considérés comme relevant de troubles anxieux modérés.

cas pour chaque effet de santé considéré (IC 95 % : [66 642 649€; 91 535 502€], euros courant de 2019). Cette valeur constitue vraisemblablement une sous-estimation puisque le périmètre de l'étude PULI ne capte qu'une partie des effets de santé.

Si l'on considère uniquement les consultations motivées principalement par les punaises de lit, le coût annuel associé à ces impacts sur la qualité de vie serait de près de 62,5 millions d'euros (IC 95 % : [52 647 693 € ; 72 313 047€], euros courant de 2019).

9.3.3.5 Synthèse des résultats et discussion

Pour la période d'étude considérée dans le cadre de l'étude PULI, le coût associé au fardeau sanitaire des infestations par des punaises de lit pour la France tel qu'estimé par le GT se monte à 83 453 315 € (euros courant 2019 ; IC 95 % : [70 319 740 € ; 96 586 087 €]). Si l'on considère uniquement les consultations motivées principalement par les punaises de lit, celui-ci se monterait à 65 928 119 € (euros courant 2019 ; IC 95 % : [55 552 594 € ; 76 303 009 €]).

Tableau 26 : Coût total associé aux effets induits par les infestations par les punaises de lit sur la santé humaine (valeurs moyennes)

	Coût direct	Coût indirect	Coût intangible	Total
Périmètre d'évaluation « Toutes consultations »	3 067 390 €	1 295 998 €	79 089 928 €	83 453 315 €
Périmètre d'évaluation « Consultations avec les punaises de lit pour motif principal »	2 423 238 €	1 023 838 €	62 481 043 €	65 928 119 €

Concernant les coûts directs, il est également nécessaire de rappeler qu'en l'absence de données de prise en charge type et de données d'observation, le GT n'a pas été en mesure de quantifier le coût direct associé à la consommation de soins en dehors de ce premier recours au médecin. Or, les résultats de l'enquête en population générale montrent que 33,7 % des personnes enquêtées ayant été victimes d'une infestation se rendent en pharmacie, dont 14,5 % sans recourir à un autre professionnel de santé. On peut également noter le recours à un psychologue. L'ensemble de ces éléments suggèrent l'existence de coûts directs non évalués par le GT, l'estimation fournie consistant donc en une sous-estimation.

Concernant les coûts indirects, le GT a proposé une quantification du coût associé à la prise en charge par le biais des prescriptions d'arrêts maladie. Le résultat obtenu est à considérer avec précaution étant donné le faible nombre d'observations (quatre observations) d'arrêts maladie dans le cadre de l'étude PULI, qui constitue la base du calcul de coût (tant pour le calcul du nombre que pour celui de la durée moyenne des arrêts de travail). Néanmoins, les résultats de l'enquête en population générale suggèrent que le nombre et la durée des arrêts de travail déterminés sur la base des résultats de l'enquête PULI consistent plutôt en une sous-estimation. En effet, les personnes interrogées dans le cadre de l'enquête menée dans le cadre de cette présente saisine déclarent avoir bénéficié d'arrêts de travail dans une plus large mesure ainsi que d'arrêts plus longs suite à une infestation par des punaises de lit, en comparaison des observations issues de l'étude PULI. Par ailleurs, il convient également de

souligner que la valorisation de ces arrêts de travail ne prend en compte aucune hétérogénéité en termes de revenu puisqu'elle se base soit sur une donnée de salaire brut journalier moyen calculé uniquement pour le secteur privé et des entreprises publiques.

Enfin, concernant les coûts intangibles, le GT a proposé une quantification du coût associé aux impacts des infestations sur le sommeil et la santé mentale sur la base de plusieurs hypothèses dont il s'agit de discuter la validité. Tout d'abord, il convient de rappeler que le GT s'est appuyé sur les données épidémiologiques issues de l'étude PULI pour le calcul du nombre de cas attribuables pour chacun des effets de santé considérés. Le faible nombre d'études établissant une relation risque-exposition pour ces derniers reste à souligner. De plus, le GT a dû adapter l'approche calculatoire mise en œuvre à l'absence de correspondance entre les effets de santé qualifiés dans le cadre de l'étude PULI et les données de la littérature. Il a été choisi d'approcher l'impact sur la qualité de vie relatif à une insomnie apparue ou aggravée par le biais du coefficient d'incapacité établi pour l'insomnie primaire (WHO, 2004). Une approche similaire a été mise en œuvre dans le cadre de travaux de l'OMS et du *Joint Research Center* (JRC) visant à évaluer le fardeau sanitaire associé à l'exposition au bruit environnemental (World Health Organization 2011). Dans le rapport précité, les auteurs soulignent qu'une exposition au bruit induit l'émergence de troubles du sommeil d'origine environnementale, qui ne peuvent pas être considérés comme des cas d'insomnie primaire. Cependant, les auteurs considèrent que le fardeau sanitaire associé est comparable. Dans la présente expertise, les troubles du sommeil étant eux aussi induits par la qualité de l'environnement, on s'appuie sur cette même approche en première approximation. Il convient également de souligner que le coefficient d'incapacité mobilisé dans le cadre du rapport précité ainsi que de la présente expertise correspond à une donnée ancienne qu'il s'agirait d'actualiser. Enfin, en l'absence de correspondance entre les effets en santé mentale décrits dans le cadre de l'étude PULI et les données de la littérature, il a été choisi de considérer l'ensemble des effets psychologiques comme relevant d'une anxiété légère. Une telle hypothèse peut elle aussi être considérée comme conservatrice. En effet, de tels effets sont fréquemment décrits en association avec une infestation par des punaises de lit si l'on se réfère à la revue de la littérature d'Ashcroft et al. (2015) ; voir également) et le coefficient d'incapacité associé est relativement faible. On pourrait s'interroger sur la pertinence d'évaluer une partie des impacts en santé mentale identifiés dans le cadre de l'enquête PULI en tant que symptômes dépressifs. Les coefficients d'incapacité associés étant sensiblement plus importants, une telle hypothèse alternative impacterait le montant des coûts intangibles à la hausse. Par ailleurs, faute de données sur la durée des effets de santé considérés, le GT a choisi d'évaluer les coûts intangibles en considérant la durée moyenne d'une infestation, soit 1,93 mois (ou 58,73 jours) d'après l'enquête en population générale. L'ensemble des résultats de cette enquête relatif à la durée des effets de santé et en particulier leur persistance dans le temps suggèrent que s'appuyer sur cette hypothèse permet de réaliser une estimation conservatrice et d'écartier le risque de surestimation. En effet, si l'on peut s'interroger sur l'émergence des effets sur le sommeil et l'état psychologique dès le début de l'infestation, les résultats de l'enquête en population générale montrent que ces effets persistent à distance de l'infestation, après élimination des punaises (Enquête en population générale).

Basée uniquement sur les résultats de l'étude PULI, qui avait pour principal objectif l'estimation de l'incidence des consultations de médecine générale associées aux infestations par les punaises de lit et non l'établissement de relations exposition-risque pour les différents effets de santé d'intérêt, les résultats de cette évaluation économique sont à considérer avec précaution et visent uniquement à fournir un ordre de grandeur du coût associé au fardeau sanitaire.

9.4 Évaluation économique des coûts de la lutte contre les punaises de lit

9.4.1 Coûts de la lutte pour les ménages

Parmi les individus enquêtés ayant été victimes d'une infestation, 48,1 % ont signalé avoir engagé des dépenses pour lutter contre les punaises de lit¹⁴³. Le montant moyen alors engagé est de 724 €. Il est associé à la mise en œuvre d'une diversité importante de mesures de lutte (cf. Figure 29Figure 29). Les mesures de lutte les plus couramment mises en œuvre par les individus interrogés correspondent à des mesures de nettoyage (*i.e.*, lavage du linge et de la maison) ainsi qu'à l'achat de traitements en grande distribution. Ces dernières induisent une dépense moyenne de 102 € et 87 € respectivement. Les dépenses associées aux mesures déléguées par les ménages à des professionnels se montent à 703 € en moyenne, dont 429 € consacrés à la mise en œuvre de traitements de désinsectisation (mesure mise en œuvre par 19 % des individus interrogés) et 274 € engagés dans des services complémentaires (*i.e.*, détection canine, traitement du linge, etc. ; mesure mise en œuvre par 8 % des individus interrogés). Les dépenses engagées dans des travaux de rénovation – mis en œuvre par 11 % des individus interrogés – se montent en moyenne à 593 €. On peut également noter que les « dommages collatéraux » (liés au rachat d'effets personnels jetés, des objets abîmés ou encore aux frais d'hébergement pendant les traitements) se montent en moyenne à 446 €. Enfin, l'achat ou la location de matériel spécifique (tente chauffante, appareil à vapeur, etc.) induit une dépense moyenne de 229 €. Certains individus interrogés ont signalé avoir déménagé à la suite d'une infestation, engageant ainsi une dépense de 422 € en moyenne.

Concernant l'impact budgétaire associé à la mise en œuvre de la lutte, une majorité des individus interrogés (68 %) déclare avoir réussi à gérer les dépenses induites dans leur budget courant. Trente-deux pourcent des individus interrogés ne sont pas parvenus à absorber ces dépenses dans leur budget courant : 27 % des individus interrogés ont déclaré avoir mobilisé leur épargne et 5 % ont déclaré avoir emprunté de l'argent afin de financer les dépenses de lutte (Enquête en population générale).

Comme évoqué à la section 9.1.2.1., une large majorité des individus interrogés (70 %) déclare avoir assumé les coûts liés aux traitements professionnels en intégralité, tandis que 34% ont vu ces coûts pris en charge par leur propriétaire/bailleur (intégralement pour 19 % et seulement en partie pour 15 % d'entre eux) ; 13 % ont signalé avoir bénéficié d'une prise en charge par un organisme (prise en charge partielle dans 10 % des cas et prise en charge intégrale dans 3 % des cas) (Enquête en population générale). Concernant les autres postes de dépenses, 79 % des ménages ont déclaré avoir assumé l'intégralité de ces coûts, tandis que 25 % ont signalé avoir bénéficié d'une prise en charge par un organisme (prise en charge partielle dans 22 % des cas et prise en charge intégrale dans 4 % des cas).

¹⁴³ On peut s'attendre à l'absence de dépenses engagées pour les individus étant locataires de leur logement et pour lesquels le coût de la lutte peut être supporté par le bailleur. On s'attend en revanche à une dépense strictement positive pour les individus propriétaires de leur logement. Cependant, l'examen des données brutes a montré que 79 propriétaires ont déclaré avoir eu recours à un professionnel pour traiter l'infestation sans pour autant déclarer une dépense. On peut émettre l'hypothèse que ces observations constituent des « faux zéros ». Aussi, la part des individus victimes d'infestation ayant engagé des dépenses pour lutter contre les punaises de lit est vraisemblablement sous-estimée dans cette enquête.



Figure 29 : Méthodes de lutte mises en œuvre par les individus victimes d'une infestation par les punaises de lit et montant moyen des dépenses associées

(source : Enquête en population générale – Phase 2 ; Total supérieur à 100 car plusieurs réponses possibles)

Sur la base de ces éléments, le GT a souhaité estimer le coût global de la lutte pour les ménages français au cours des cinq dernières années. À l'instar de la démarche d'évaluation conduite en section 9.3, il s'agit de fournir un ordre de grandeur des coûts de la lutte.

Cette démarche d'extrapolation s'appuie sur la dépense moyenne engagée par les ménages dans la mise en œuvre de la lutte. Afin de rendre compte de l'incertitude associée à cette valeur, le GT a souhaité estimer un intervalle de confiance pour la dépense de lutte moyenne. L'examen des données d'enquête montre que la dépense moyenne n'est pas distribuée selon une loi normale mais selon une loi log-normale. La taille de l'échantillon étant trop restreinte – seuls 309 individus déclarent engager une dépense strictement positive – il n'est pas possible d'appliquer le théorème central limite¹⁴⁴ et de calculer un intervalle de confiance standard à partir de la moyenne et de l'écart-type empiriques comme l'on pourrait le faire pour des données distribuées selon une loi normale.

Un intervalle de crédibilité a donc été estimé autour de la dépense moyenne à partir de la méthode du bootstrap (ré-échantillonage). La dépense moyenne a elle aussi été ré-estimée. **On obtient ainsi une dépense moyenne de 866 € par an et par ménage français et l'intervalle de crédibilité à 95% suivant [644 € ; 1 091 €].**

Le coût global de la lutte assumé par les ménages est calculé à l'aide de la démarche d'extrapolation et des hypothèses suivantes :

- 11 % des ménages français ont été touchés par une infestation de punaises de lit au cours des 5 dernières années ;
- 48,1 % des ménages infestés engagent des dépenses de lutte ;

¹⁴⁴ Dans le cadre du calcul d'un intervalle de confiance pour la moyenne, il est possible de faire appel au théorème central limite et de calculer un intervalle standard sur la base des points critiques de la distribution de Student et ce, même si les données sous-jacentes ne sont pas distribuées selon une loi normale. En effet, tant que les données sont indépendantes et identiquement distribuées et qu'elles présentent une variance finie, la distribution de la moyenne d'un échantillon de taille minimale $n = 383$ tend vers une distribution normale. Cela est valable même si la distribution sous-jacente des données varie significativement d'une distribution normale.

- la France (hors Mayotte) compte 29 959 295 ménages (source : Insee, recensement de la population 2019) ;
- la dépense de lutte moyenne engagée par un ménage infesté est de 866 €.

Le coût global de la lutte pour les ménages pour la période 2017-2022 se monte donc à près de 1,4 milliard d'euros (soit 230 millions d'euros par an en moyenne sur la période)¹⁴⁵.

Ce coût global peut être distribué année par année sur la période étudiée en s'appuyant sur les données de la première phase d'enquête à partir desquelles la prévalence des infestations a été estimée. La Figure 30 illustre la distribution des infestations par année au cours de la période d'étude. Cette dernière permet de déterminer la distribution du coût global de la lutte par année au cours de la période au *prorata* du nombre d'infestations. Ainsi, on observe que les dépenses de lutte engagées par les ménages progressent de 2017 à 2019 (366,41 millions d'euros engagés au maximum dans la lutte contre les punaises pour l'année 2019) pour entamer une décroissance (Figure 31).

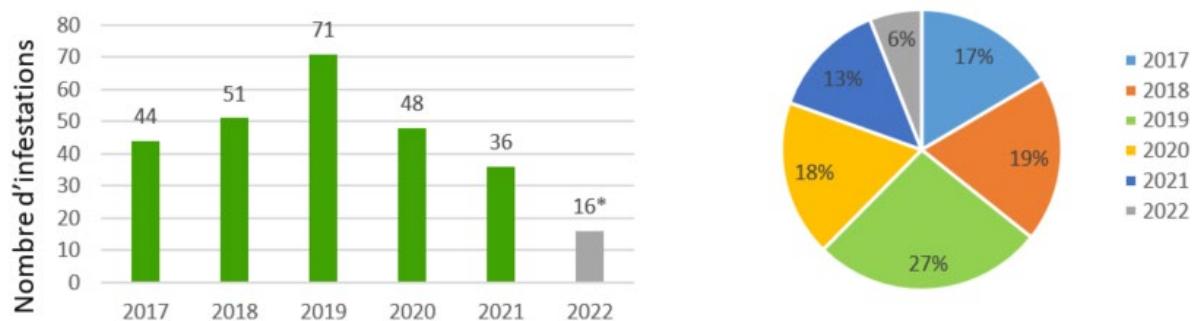


Figure 30 : Distributions des infestations par année

(source : Enquête en population générale – Phase 1 ; * Année 2022 incomplète)

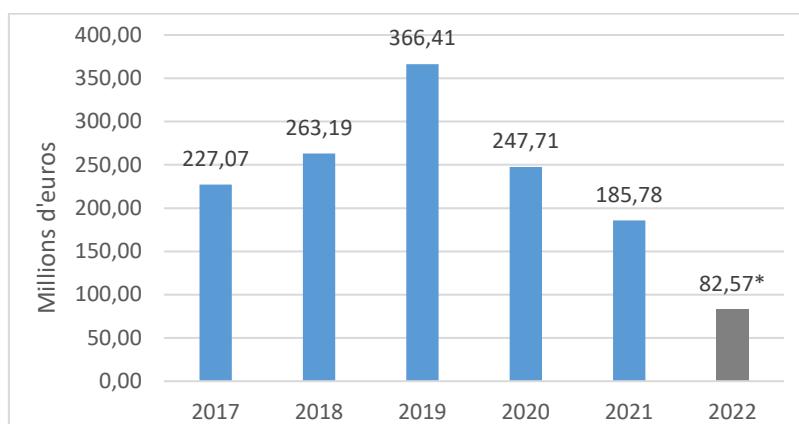


Figure 31 : Distribution du coût global de la lutte par année (* : année 2022 incomplète)

Il convient de noter que le coût global de la lutte assumé par les ménages ne peut en aucun cas être sommé avec le coût de la lutte pour le secteur du logement. En effet,

¹⁴⁵ $0,11 \times 29\ 959\ 295 \text{ ménages} \times 0,481 \times 866 \text{ €/ménage} = 1\ 372\ 736\ 694 \text{ €}$

comme évoqué précédemment, une part des dépenses de lutte engagées par les ménages peut faire l'objet d'une prise en charge par le bailleur. Aussi des doubles comptes peuvent exister.

9.4.2 Coûts de la lutte pour le secteur du logement social

Les données de coûts de la lutte pour le secteur du logement social sont issues de l'enquête menée auprès des organismes HLM de l'USH (voir Annexe 4).

Le budget moyen par bailleur social dédié aux interventions de désinsectisation est passé de 57 537 euros en 2020 à 74 509 euros en 2021, soit une augmentation de 30 %. L'hétérogénéité est forte au sein des bailleurs sociaux concernant ce budget. Certains bailleurs ne dédient pas de budget aux interventions de désinsectisation alors que d'autres déclarent avoir dédié 1,9 million d'euros en 2020. En plus de l'étendue du budget déclaré, son degré de dispersion est important. La taille de ce budget croît avec la taille du parc (Figure 32).

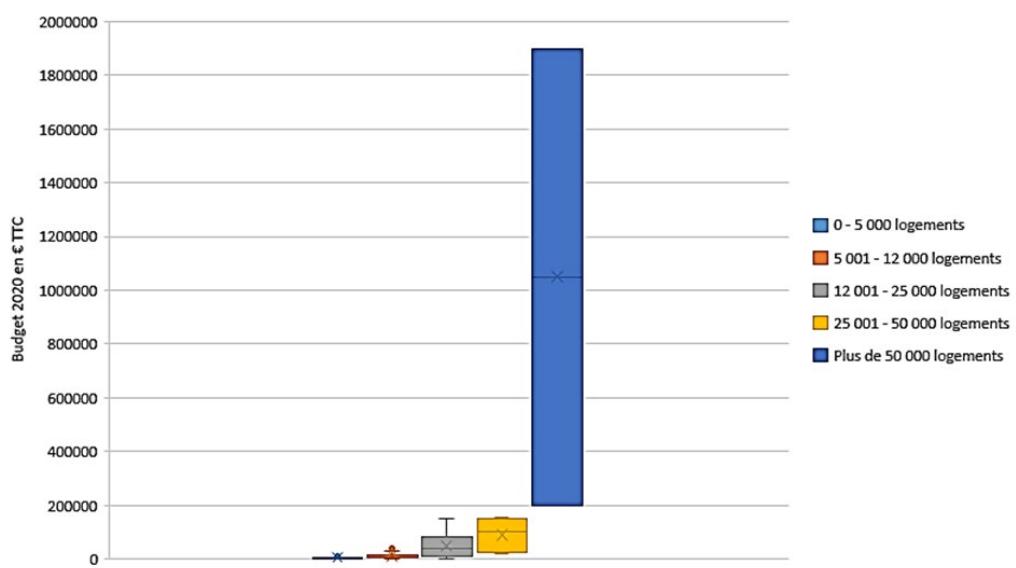


Figure 32 : Budget consacré aux interventions de désinsectisation par taille de parc en 2020 en euros (n=62)

Note : les moyennes sont indiquées par les croix ; les médianes par les traits horizontaux ; les points isolés représentent des valeurs extrêmes.

Une analyse similaire peut être menée sur le coût par intervention de désinsectisation. En 2020 et 2021, ce coût peut aller jusqu'à 20 000 € selon les organismes HLM enquêtés. En moyenne, il était de 1 013 € en 2020 et de 1 052 € en 2021¹⁴⁶, soit, une augmentation de 4 % en un an. Cependant, le coût ne semble varier que faiblement en fonction de la taille du parc (Figure 33).

¹⁴⁶ Ces moyennes ont été calculées à partir de 40 réponses interprétables sur les 95 reçues en 2021 et 32 en 2020.

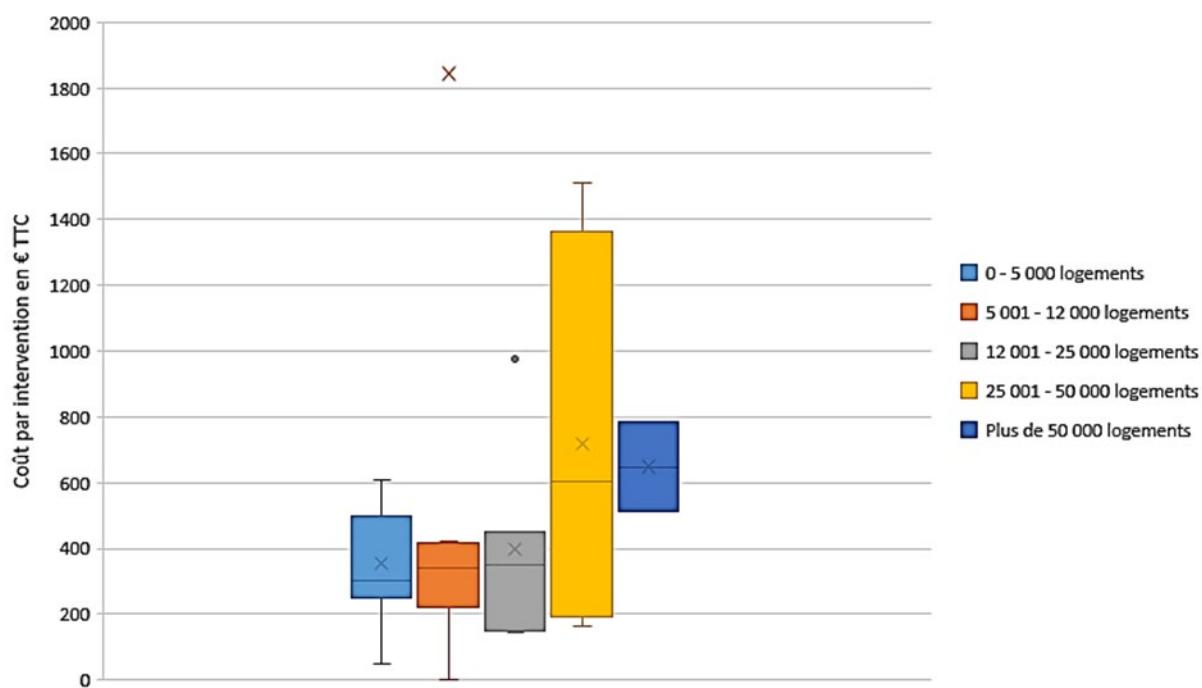


Figure 33 : Coût par intervention de désinsectisation en 2020

Note : les moyennes sont indiquées par les croix ; les médianes par les traits horizontaux ; le point isolé représente une valeur extrême.

En dehors des coûts engagés dans des interventions de désinsectisation, un quart des organismes HLM ayant répondu (24%) engagent également d'autres dépenses en lien avec des infestations de punaises de lit. Celles-ci peuvent concerner des moyens de prévention, de lutte ou de suivi. Concernant la prévention, un organisme affirme acheter du mobilier anti-punaises¹⁴⁷ de surcroît. Quant aux moyens de lutte, certains organismes HLM investissent dans la lutte thermique en achetant ou louant des congélateurs ou des locaux frigorifiques (6 d'entre eux), des sacs de congélation (1) ou des nettoyeurs vapeurs ou du matériel de chauffage (4) pour traiter les objets infestés. Certains dépensent dans la lutte chimique. En effet, certains achètent divers produits insecticides (4), recouvrent les murs par de la peinture anti-punaises de lit (2) ou mettent à disposition des locataires de la terre de diatomée (1). À cela peut s'ajouter le relogement des locataires pendant le traitement de leur logement infesté (2). Des organismes HLM entreprennent également des dépenses post-traitement comme par exemple la réfection du logement infesté (5), le remplacement du mobilier endommagé et le dédommagement des locataires (5), la rémunération d'un personnel de suivi (4), l'achat d'équipements de protection individuelle (3). D'après l'enquête menée, ces dépenses hors intervention de désinsectisation s'élèvent en moyenne à 15 169 € en 2020 et à 24 781 € en 2021¹⁴⁸.

Au total, les organismes ayant répondu¹⁴⁹ ont dépensé 3,8 millions d'euros en 2020 et 5,7 millions d'euros en 2021. A l'échelle de l'échantillon interrogé, les dépenses en lien avec les punaises de lit (dépenses liées aux interventions de désinsectisation et autres dépenses) représentent en moyenne 1,57 % et 1,71 % des dépenses annuelles de fonctionnement en

¹⁴⁷ Cela comprend par exemple des alèses, des pieds de lits mais pourrait comprendre des meubles (chaises, table, lit, etc.) métalliques, par exemple.

¹⁴⁸ Ces moyennes ont été calculées à partir de 15 réponses interprétables sur les 95 reçues pour 2021 et 14 pour 2020.

¹⁴⁹ Hormis ceux ayant proposé des valeurs considérées comme aberrantes (voir Annexe 4).

2020 et 2021, respectivement (soit une progression de 9 %).et représentent 1,6% des dépenses d'entretien courant de ces organismes en 2020 et 1,7% en 2021. Ces dépenses ne semblent que peu dépendre de la taille du parc (Figure 34).

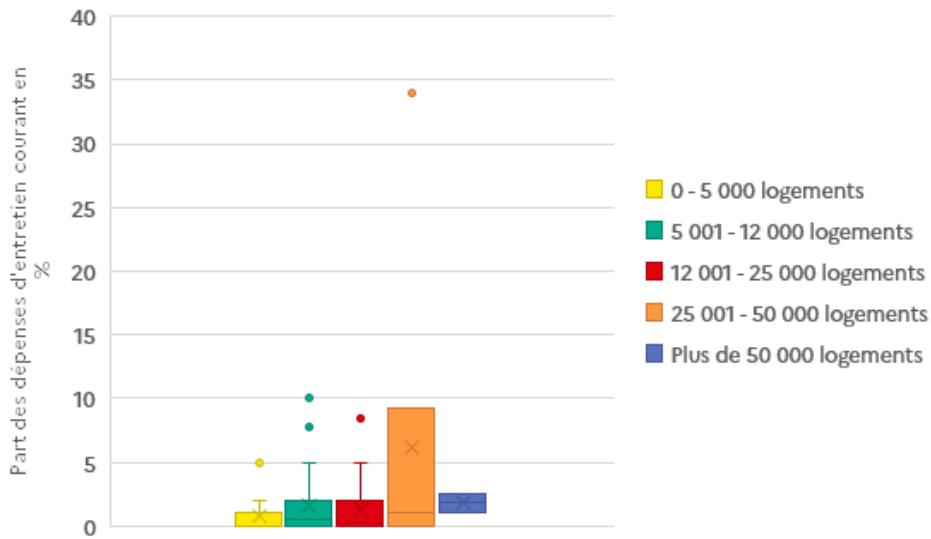


Figure 34 : Part des dépenses d'entretien courant en lien avec les punaises de lit en 2020 (n=90)

Note : les moyennes sont indiquées par les croix ; les médianes par les traits horizontaux ; les points isolés représentent des valeurs extrêmes.

Il existe certaines dispositions légales par lesquelles certains organismes HLM peuvent récupérer une partie des charges engagées auprès de leurs locataires. D'après l'enquête réalisée, plus d'un tiers des organismes (37 %) récupère une partie des dépenses engagées en lien avec les punaises de lit auprès du locataire. L'accord collectif¹⁵⁰ est la modalité par laquelle 17 % des organismes HLM enquêtés récupèrent ces charges en facturant en moyenne 17 € aux locataires¹⁵¹. Les autres modalités de récupération (non précisées dans les réponses à l'enquête) engendrent des facturations aux locataires en moyenne de 1 314 € en 2020 et 1 230 € en 2021.

Le montant moyen (médian) facturé, toutes modalités de récupération confondues, était de 990 € (66 €) en 2020 et de 1 010 € (79 €) en 2021, soit une augmentation de 2 % (20 %) du montant facturé en un an.

9.4.3 Coûts de la lutte pour le secteur du logement étudiant

Les informations reportées ici sont issues de l'audition du CNOUS/CROUS réalisée dans le cadre de cette expertise. Le CNOUS/CROUS est un réseau comprenant 27 établissements au service de 2,8 millions d'étudiants¹⁵² dont les missions comprennent, entre autres, de proposer et gérer un parc de logements étudiants. Ce réseau consacrait à la lutte contre les punaises de lit un budget d'un million d'euros pour la France entière en 2020 et 700 000 € en

¹⁵⁰ Dans le cadre juridique des accords collectifs défini par les articles 41ter et 42 de la loi Méhaignerie du 23 décembre 1986, les bailleurs sociaux ont la possibilité de conclure ces accords, soit avec les associations de locataires, soit, à défaut, directement avec les locataires. Cet accord aura notamment pour but de fixer des nouvelles règles juridiques qui s'imposeront sur tout ou partie du patrimoine d'un même bailleur.

¹⁵¹ Certaines valeurs ne sont pas prises en compte dans cette moyenne (voir Annexe 4).

¹⁵² <https://www.lescrous.fr/>

2021, soit une baisse de 30 % en un an¹⁵³. Le coût de la lutte varie grandement d'une région à l'autre. Le coût d'intervention de désinsectisation s'élève à 80 € dans certaines régions et 300 € dans d'autres. Cette variation ne dépend pas du comportement du CNOUS/CROUS qui a mis en place un protocole d'intervention « standard » à l'échelle nationale. Celui-ci consiste à désinfecter le logement infesté et ses logements voisins en 2 voire 3 interventions, ainsi que le textile personnel du locataire et les linge de lit. Chaque intervention mobilise deux employés (équivalent temps plein) des équipes internes (équipe d'accueil et équipe technique) durant 3 jours. Avec 3 800 interventions, l'année 2020 fut marquée par une forte mobilisation. Ces interventions ont lieu non seulement dans le logement infesté mais également dans les logements voisins.

Le relogement des étudiants pendant le traitement est également prévu dans le protocole (de 24h à 3 jours). La désinsectisation est, généralement, mise en œuvre par un prestataire 3D extérieur, sélectionné à la suite d'un appel d'offre qui peut être local ou mutualisé à l'échelle régionale. Un seul CROUS en France a décidé de former ses propres équipes de désinsectisation pour internaliser la prestation.

Tous les coûts associés aux infestations, soient le coût du traitement, la remise en état des locaux infestés et les coûts associés au relogement (comme évoqué dans la section 9.1), sont à la charge du CNOUS/CROUS. Ces coûts sont compris dans leur budget de fonctionnement, autrement dit aucune enveloppe spécifique n'est dédiée à la lutte contre les punaises de lit. Cette lutte représente une part infime du budget total des CROUS mais une part non négligeable du budget dédié à la maintenance des bâtiments. Par exemple, le CROUS de Versailles consacre 0,3 % de son budget total mais 6,7 % du budget maintenance à la lutte contre les punaises de lit en 2020. Cet impact budgétaire est récent et significatif. Effectivement, avant 2016, la lutte contre les nuisibles était concentrée sur les cafards et rongeurs et engendrait un moindre coût. Au regard de l'évolution des prix des prestations de désinsectisation communiqués aux CNOUS/CROUS, les organismes ne prévoient pas de baisse du budget alloué à cette lutte. Bien que celle-ci soit financée par les loyers¹⁵⁴, elle ne devrait pas engendrer des loyers plus importants. Les ministères de tutelles des CNOUS/CROUS se préoccupant de la précarité des étudiants, les organismes ont décidé de ne pas répercuter l'augmentation des coûts de la lutte sur les loyers et n'envisagent d'augmenter ces derniers qu'en cas d'augmentation du coût de l'énergie.

9.5 Conclusion sur l'évaluation économique du fardeau associé aux punaises de lit

L'évaluation du **fardeau sanitaire** imputable à l'infestation des punaises de lit en France visait à estimer les coûts et ce dans une approche plus économique que financière, où la collectivité est ici explicitement considérée comme étant en charge de la santé publique, incluant ainsi, en plus des coûts directs et indirects, des coûts intangibles. Devant le faible nombre d'études

¹⁵³ Cette baisse pourrait par un effet COVID identifié par certains organismes sociaux (questionnaire). En raison du virus et des mesures gouvernementales, les habitants ont moins voyagé et ont moins ouvert la porte aux autres. La baisse pourrait également être expliquée par les formations du personnel de l'organisme, une meilleure connaissance des habitants des punaises de lit et des problèmes qu'elles engendrent, par une meilleure formation des techniciens applicateurs qui mettent en œuvre un programme de lutte moins coûteux et enfin par un plus grand nombre de prestataires (section 8.2.1.1).

¹⁵⁴ Les loyers ont un rôle central dans ces organismes. Ils financent entièrement la lutte contre les punaises de lit et de manière générale les deux tiers de son budget fonctionnement.

disponibles dans la littérature fournissant une relation quantitative de type exposition-risque décrivant les liens entre l'exposition aux punaises de lit et l'émergence des différents effets de santé, et estimant, grâce à l'enquête en population générale réalisée dans le cadre de cette saisine, que la relation entre l'exposition aux punaises, le fait de recourir à un médecin et l'émergence des différents effets de santé décrits sont assez robustes, les résultats de l'enquête PULI ont permis d'extrapoler ces coûts pour estimer une valeur économique à ce fardeau sanitaire. Pour ce faire, le GT s'est basé sur des hypothèses diverses permises en l'état actuel des connaissances qui ont pu lui être rapportées : évaluation des coûts directs associés aux seules premières consultations en médecine en dehors de tout autre type de consultation qui pourrait être attribuable à la présence de punaises de lit, estimation des coûts indirects uniquement via l'approche du capital humain (arrêts de travail) mais avec une valorisation de ces arrêts de travail ne prenant en compte aucune hétérogénéité, et enfin évaluation des coûts intangibles se référant exclusivement aux effets négatifs de la maladie sur la qualité de vie (soit l'utilisation d'un indicateur DALY « simplifié », quantifiant uniquement les années de vie vécues en incapacité, c'est-à-dire avec une qualité de vie moindre et basée uniquement sur les effets sur le sommeil et la santé mentale des individus touchés). Même si, pour toutes ces raisons, la valeur estimée reste fortement liée aux hypothèses émises dans le cadre de l'extrapolation à la population générale, le fardeau économique en France est estimé par conséquent à **environ 83,5 millions d'euros pour l'année 2019**. Toutefois, il convient donc d'être suffisamment précautionneux quant à la valeur trouvée et d'éventuellement, à la suite de ce rapport, en réviser l'estimation au regard des hypothèses faites ici et au regard des données futures sur les infestations et surtout leurs conséquences sur les individus. Si collecter les coûts individu par individu peut être considéré comme illusoire à cette échelle, toute information obtenue par des enquêtes ponctuelles ou grâce au travail de l'observatoire recommandé par le GT (voir section 11.5) rendra ces estimations plus précises à l'avenir.

Concernant le **fardeau économique** associé à la lutte contre les infestations par les punaises de lit, l'évaluation a consisté à analyser les coûts de la lutte pour trois catégories d'acteurs : les ménages, les bailleurs sociaux et les logements étudiants. L'étude du coût de la lutte pour les ménages s'est fondée sur une enquête en population générale sur la base de laquelle une extrapolation a été menée par le GT, estimant un ordre de grandeur de ce coût à près de **1,4 milliard d'euros (coût total) pour la période 2017-2022, soit 230 millions d'euros par an en moyenne sur la période**, avec une dépense moyenne de 866 € par an par ménage, allouée à diverses mesures de lutte au premier rang desquelles se trouvent des mesures de nettoyage et des traitements. L'étude du coût de la lutte contre les infestations aux punaises de lit pour les bailleurs sociaux s'est fondée sur une enquête menée auprès des organismes HLM de l'USH qui mettent en œuvre diverses mesures de lutte : ces mesures concernent essentiellement des interventions de désinsectisation (dont le coût par bailleur - très hétérogène- s'élève en moyenne à 57 537 € en 2020 et à 74 509 € en 2021, avec un coût moyen (médian) par intervention de 1 013 € (341 €) en 2020 et de 1 052 € (357 €) en 2021) sur la base des réponses apportées par les bailleurs enquêtés¹⁵⁵. Quant aux autres dépenses engagées, elles s'élèvent en moyenne à 15 169 € en 2020 et à 24 781 € en 2021 (remplacement de mobilier, nettoyage, etc.)¹⁵⁶. **Ainsi, les organismes interrogés ayant**

¹⁵⁵ Un questionnaire a été transmis aux 409 organismes HLM adhérents de l'USH ; 95 d'entre eux ont répondu. Parmi eux, les réponses de 71 (62) bailleurs en 2021 (2020) ont permis de calculer les budgets moyen et médian (sur la base de réponses interprétables, *i.e.* n'incluant pas de valeurs aberrantes). Les coûts moyen et médian par intervention en 2021 (2020) ont, eux, été calculés à partir des réponses interprétables de 40 (32) des 95 organismes répondants.

¹⁵⁶ Parmi les 95 répondants (voir note 148), 15 (14) bailleurs ont permis, par leurs réponses interprétables, de calculer ces dépenses moyennes.

répondu avoir engagé des dépenses pour lutter contre les punaises de lit¹⁵⁷ ont dépensé au total 3,8 millions d'euros en 2020 et 5,7 millions d'euros en 2021. Enfin, l'étude du coût de la lutte pour les logements étudiants s'est basée sur les informations collectées lors de l'audition du CNOUS/CROUS réalisée dans le cadre de cette expertise. La lutte contre les punaises de lit suit un protocole d'intervention « standard » mis en place à l'échelle nationale et tous les coûts engagés (coût du traitement, remise en état des locaux infestés et relogement) sont à la charge du CNOUS/CROUS. Le budget consacré à cette lutte représentait 1 million d'euros pour la France entière en 2020 et 700 000 € en 2021. Étant donné leur mode de collecte et (pour certains) d'extrapolation, ces estimations de coûts de la lutte pour les trois catégories d'acteurs concernées doivent être considérées comme des ordres de grandeurs utiles pour donner un aperçu de l'ampleur du fardeau économique de la lutte contre les punaises de lit et non comme des coûts exacts. Ces estimations ne sont par ailleurs pas exhaustives du fait que des données de coûts de la lutte n'ont pas pu être collectées pour certains acteurs. Également, il convient de rappeler que le coût global de la lutte assumé par les bailleurs sociaux ne peut pas être sommé avec le coût de la lutte pour les ménages, étant donné qu'une part des dépenses de lutte engagées par les ménages peut faire l'objet d'une prise en charge par certains bailleurs (autour de 1 000 € en 2020 et 2021, d'après l'enquête USH).

En conséquence, le GT a émis des recommandations pour améliorer l'état des connaissances dans la perspective d'une estimation plus robuste et plus complète de ce fardeau économique (se reporter au chapitre 11 « recommandations »).

Finalement, puisque le GT a ici adopté une approche économique et s'est placé dans le cadre d'une analyse coûts-bénéfices, il est apparu évident que dans ce cadre, toute politique visant à faire cesser la prolifération de l'infestation en France, aussi coûteuse soit-elle, doit être jugée à l'aune des bénéfices qui pourront en être retirés à terme. Ces bénéfices peuvent donc être estimés comme étant équivalents aux coûts estimés (qui seraient évités) pour une ou plusieurs années, *i.e.*, la somme des coûts du fardeau sanitaire et des coûts de la lutte engagés pour s'en débarrasser (et sans préjuger forcément ici de leur efficacité actuelle), même si ce coût estimé pour les différents acteurs, comme expliqué précédemment, est difficilement sommable (du fait du risque de double comptabilisation notamment). Pour autant, il n'en reste pas moins que les moyens actuellement alloués à la prévention en France contre l'infestation par les punaises de lit sont bien loin de ces montants et laissent donc une certaine marge de manœuvre à l'État pour favoriser toute action visant à faire refluer l'infestation actuellement constatée en France. Dans cette perspective, il convient de bien distinguer l'efficacité des méthodes de lutte et des mesures de prévention, ainsi que ce qui relève du purement « curatif » sans « préventif » dans les coûts de la lutte, soit éliminer les punaises sans se prémunir de leur réapparition, notamment en ne traitant pas, voire insuffisamment, les pièces ou logements attenant à la zone infestée. Ici, les coûts « préventifs », a priori plus élevés sur le moment, doivent être distingués de ceux uniquement qualifiés de « curatifs ».

Le GT insiste aussi pour souligner le fait que les coûts estimés peuvent être ici considérés comme étant certainement inférieurs aux coûts réels ou à venir mais dans une proportion inconnue du GT malgré son travail effectué dans le cadre de la saisine : en effet, dans le cadre de l'estimation des coûts indirects du fardeau sanitaire sur la société, le GT a pris comme point de départ de son estimation les coûts individuels en extrapolant pour la société entière, en se basant uniquement sur le coût des arrêts de travail qui ont pu être directement imputés au

¹⁵⁷ Voir les notes 155 et 156 ainsi que l'Annexe 4 pour plus de détails. L'extrapolation de ce coût est impossible étant donné le manque d'information sur la composition exacte du parc immobilier des bailleurs répondants, comme leur distribution sur le territoire, et leur représentativité.

fléau. Pour autant, le coût d'un arrêt de travail peut constituer une perte de valeur ajoutée créée pour une entreprise si l'individu touché n'est pas remplacé durant son arrêt et que les collègues présents n'arrivent pas à compenser la perte due à son absence. Même si, d'un point de vue général, le niveau d'infestation n'est pas considéré comme susceptible d'entraîner une perte annuelle de produit intérieur brut (PIB) pour la France suffisamment perceptible, cette perte de valeur n'en reste pas moins possible et augmenter au rythme de la propagation de l'infestation en France au cours des années à venir. Enfin, en termes d'image et de réputation, la présence avérée et à grande échelle de punaises de lit en France pourrait avoir des conséquences non négligeables pour le secteur du tourisme, notamment vis-à-vis de l'attractivité des touristes étrangers. Le GT n'a pu, dans le laps de temps qui lui a été attribué pour traiter cette saisine, se livrer à des enquêtes à ce niveau, mais il n'en reste pas moins que cette donnée ne peut être négligée pour un secteur en France, celui du tourisme, représentant une part de son PIB très importante¹⁵⁸.

Enfin, il semblerait que les coûts de la lutte, qu'ils soient directement ou indirectement (via la récupération des charges) supportés par les populations touchées par les infestations, comme ceux du fardeau sanitaire, ne feront qu'augmenter au cours du temps si la dynamique de l'infestation n'est pas à minima stoppée, au mieux inversée par toute politique publique entreprise d'envergure nationale, coordonnée sur l'ensemble du territoire et impliquant tous les acteurs concernés (secteur du logement, de l'environnement et du tourisme). Ainsi, si la section 4 de ce rapport n'a pas mis en évidence que les populations les plus défavorisées sont les plus susceptibles d'être touchées par l'infestation, ce sont néanmoins celles sur qui le fardeau économique (notamment les coûts de la lutte mais aussi sanitaires en cas de persistance de l'infestation), pèsent financièrement le plus, avec le risque qu'à long terme, elles aient de moins en moins les moyens de lutter efficacement contre les punaises de lit présentes dans leur logement, contribuant ainsi à la propagation des infestations en France.

¹⁵⁸ La consommation touristique intérieure, regroupant l'ensemble des dépenses touristiques, représentait 7,5 % du PIB en France en 2019, selon l'Insee.

10 Conclusions du groupe de travail

Depuis les années 1990, la punaise de lit a réémergé dans notre quotidien. D'après l'enquête menée auprès de la population française dans le cadre de la présente expertise, **11 % des ménages français auraient été infestés par les punaises de lit entre 2017 et 2022**. Une seconde enquête réalisée auprès des 409 adhérents de l'Union Sociale pour l'Habitat a mis en évidence que 39 des 95 répondants ont mis en place un suivi et ont indiqué une infestation de leurs parcs locatifs ainsi qu'un taux d'infestation moyen dans ces parcs de 4,4 % en 2021.

Considérant (i) les taux d'infestation observés qui semblent en augmentation, (ii) les impacts de ces infestations sur la santé humaine et en particulier les conséquences émotionnelles et psychologiques, ainsi que (iii) le risque de dissémination de toute infestation (de proche en proche ou par des personnes ou des biens infectés), **la présente expertise souligne la nécessité de considérer les punaises de lit comme un risque pour la santé publique (et pas seulement de salubrité)**.

Selon les enquêtes réalisées dans le cadre de la présente expertise, **un faible niveau de revenu ne serait pas lié à un risque supérieur d'infestation**. Cependant, le coût de la lutte est un frein à l'éradication des infestations. Ainsi, l'absence de prise en charge de la lutte rallonge la durée de l'infestation et augmente le risque de dispersion.

Le fardeau sanitaire imputable à l'infestation des punaises de lit en France est estimé à **environ 83,5 millions d'euros pour l'année 2019**. Cette valeur reste fortement liée aux hypothèses émises dans le cadre de l'extrapolation des résultats à la population générale.

Le GT a également pu estimer **le coût de la lutte** pour les acteurs suivants :

- (i) pour les ménages français, **1,4 milliard d'euros (coût total) pour la période 2017-2022, soit 230 millions d'euros par an en moyenne sur la période**, avec une dépense moyenne de 866 euros par an par ménage infesté ;
- (ii) pour les bailleurs sociaux ayant répondu à l'enquête, **74 509 euros (coût moyen de désinsectisation par bailleur) en 2021¹⁵⁹**, avec un coût moyen par intervention de 1 052 euros. Le budget total consacré à la lutte contre les punaises de lit, incluant les dépenses liées aux interventions et celles hors interventions et hors récupérations de charges, auprès des locataires, **par les répondants à l'enquête** (Annexe 4) s'élève à 5,7 millions d'euros en 2021¹⁶⁰.
- (iii) Pour les logements étudiants gérés par le CROUS, **700 000 euros en 2021 (coût total)**.

Aussi, toute politique visant à faire cesser la prolifération de l'infestation en France, aussi coûteuse soit-elle, doit être jugée à l'aune des bénéfices qui pourront en être retirés à terme.

En matière de lutte, les résultats des deux enquêtes réalisées dans le cadre de la présente expertise montrent que **le recours aux insecticides constitue une solution de première intention** pour l'élimination des punaises de lit, **à la fois chez les particuliers et les professionnels**. Or, **différents mécanismes de résistance aux insecticides ont été décrits dans la littérature** chez les punaises de lit sauvages. L'usage croissant et répété

¹⁵⁹ Pour rappel, 95 bailleurs sociaux ont répondu à l'enquête sur 409 organismes adhérents de l'USH. Ce coût moyen est calculé à partir de 71 réponses interprétables sur les 95 reçues, soit 74,7 % des répondants, autrement dit 17,4 % des adhérents USH.

¹⁶⁰ Ce coût total a été calculé en sommant les dépenses indiquées dans les 71 réponses interprétables concernant le budget consacré aux interventions contre les punaises de lit et les 15 concernant les dépenses engagées pour la lutte hors intervention (cf note 148 et Annexe 4).

d'insecticides augmente le risque de sélection de mécanismes de résistance, et diminue l'efficacité des insecticides à dose constante. D'autre part, **les insecticides sont utilisés en intérieur pour lutter contre les infestations, ce qui peut engendrer un risque d'intoxication pour l'être humain plus ou moins important en fonction de la classe d'insecticide, de la dose, du mode d'administration, et en cas de non-respect des conditions d'utilisation imposées dans les AMM.** En effet, entre 2007 et 2021, les centres antipoison ont enregistré 1 056 cas d'intoxications à des produits chimiques utilisés pour lutter contre les punaises de lit, soit environ 70 cas par an en moyenne. Parmi ces cas, douze intoxications graves et un décès, survenus pour l'essentiel avec des produits interdits en France.

Pour limiter les risques d'intoxication, les impacts sur l'environnement et l'augmentation de la résistance aux insecticides chez les punaises de lit, **il est nécessaire de privilégier les méthodes de lutte alternatives aux insecticides chimiques** (e.g., méthodes physiques).

La première étape avant tout traitement est l'identification formelle de l'insecte et la détermination de sa répartition dans un logement ou dans un bâtiment afin d'adapter le traitement à réaliser.

Sur la base des données disponibles et des connaissances des experts, deux méthodes de lutte avec une efficacité « élevée » ont été identifiées comme pouvant être utilisées à l'échelle d'une pièce ou d'un logement, **les traitements par le dioxyde de silicium synthétique (silice amorphe en gel ou en poudre) et par la chaleur sèche.** Les traitements par le dioxyde de silicium synthétique ont une applicabilité « élevée », cependant, le risque pour la santé humaine lié à leur utilisation a été qualifié de « moyen ». Les traitements par la chaleur sèche ont une applicabilité « moyenne » car leur utilisation à l'échelle d'une pièce ou d'un logement nécessite une intervention de professionnels utilisant des appareils adaptés. Par ailleurs, il ressort de la revue de la littérature, que **les preuves d'efficacité en conditions réelles sont insuffisantes pour la plupart des méthodes citées dans ce rapport.** Des travaux de recherche complémentaires sont nécessaires pour mieux caractériser *in situ* l'efficacité de l'ensemble des méthodes utilisées dans la lutte contre les punaises de lit.

Pour finir, les experts soulignent **qu'aucune méthode ne peut être efficace à elle seule pour éliminer les punaises de lit d'un habitat infesté.** Il faut considérer l'ensemble des méthodes disponibles comme un panel d'outils à utiliser d'une manière adaptée selon les objets infestés et le niveau d'infestation de l'habitat. Aussi, les méthodes de lutte non chimique, plus respectueuses de l'environnement et ayant un impact négligeable sur la santé humaine, doivent être utilisées en priorité. En cas de persistance de l'infestation, un traitement chimique par un professionnel peut être utilisé en complément, dans le respect des conditions d'usage et considérant l'état actuel des connaissances sur la résistance aux insecticides (voir la position divergente d'un expert du GT sur ce dernier point en Annexe 13).

Dans les logements collectifs, la littérature montre que les **stratégies de gestion intégrée des infestations (Integrated Pest Management)**, combinant à la fois des actions mécaniques, thermiques et/ou chimiques et visant une diminution de l'utilisation de produits chimiques sont efficaces pour éliminer les populations de punaises de lit. Cette gestion intégrée est dépendante de l'adhésion et de la coopération active de tous les acteurs impliqués dans la lutte (bailleurs, collectivités, propriétaires, désinsectiseurs, particuliers, etc.). Elle passe donc par l'éducation de l'ensemble des personnels et des victimes d'infestation concernant les traitements curatifs et les mesures préventives à mettre en œuvre pour s'affranchir des récidives.

Enfin, les experts soulignent la nécessité d'instaurer un suivi des infestations reposant sur un système de déclaration obligatoire et ouvert à tous les acteurs concernés, afin de caractériser les infestations et de mieux cibler les actions menant à l'éradication de cet insecte.

11 Recommandations

11.1 En matière de reconnaissance et de prise en charge

Considérant :

- les impacts des infestations de punaises de lit sur la santé humaine y compris leurs conséquences émotionnelles et psychologiques ;
- le risque de dissémination de toute infestation par portage d'insecte ;
- les coûts économiques engendrés par les infestations ;
- que la probabilité d'être impacté par des punaises concerne toute la population (la primo-infestation n'étant *a priori* pas liée au niveau socio-économique) ;

le GT « Punaises de lit » recommande :

- de considérer les infestations par les punaises de lit en tant que risque pour la santé publique (et pas seulement de salubrité) ;
- d'inscrire les punaises de lit sur la liste réglementaire des « espèces végétales et animales dont la prolifération est nuisible à la santé humaine » (cf. article D 1338-1 du code de la santé publique) ;
- de mieux considérer et prendre en charge les conséquences médico-psychologiques des infestations ;
- de proposer un accompagnement à destination des particuliers pour aider à l'éradication des punaises de lit, en particulier une prise en charge financière pour les ménages à faibles ressources et la mutualisation de matériels nécessaires à la lutte physique (e.g., vaporiseurs, congélateurs, étuves, etc.).

11.2 En matière de prévention

Considérant que :

- la gestion intégrée est dépendante de l'adhésion et de la coopération active de tous les acteurs impliqués dans la lutte (bailleurs, collectivités, propriétaires, désinsectiseurs, particuliers, etc.) ;
- l'éducation des victimes d'infestation et de l'ensemble des professionnels à risque d'infestation¹⁶¹ concernant les mesures préventives et les traitements curatifs à mettre en œuvre est une étape primordiale dans la gestion intégrée des infestations ;
- la prévention du risque punaises de lit passe par la formation de tous les acteurs concernés, notamment des désinsectiseurs, des professionnels de santé et des personnels qui réalisent l'entretien et le nettoyage des lieux recevant du public ;

¹⁶¹ Liste non-exhaustive de professions à risque d'infestation : petite enfance, travailleurs sociaux (assistantes sociales), professionnels de santé (soins en cabinet/hôpital et à domicile, pharmaciens), secteur 3D, professionnels du nettoyage, prestataires de service à domicile (auxiliaires de vie), professionnels dans lieux d'accueil du public (déshabillage et arrêts de quelques heures), etc.

le GT « Punaises de lit » recommande :

Information à destination du grand public

- d'organiser des campagnes d'information destinées au grand public afin de prévenir, et repérer au plus tôt les infestations (comme déjà prévu dans le [plan interministériel de lutte contre les punaises de lit, 2022](#)) ;
- d'amender, développer et promouvoir le contenu des informations¹⁶² mis à disposition du public par le Ministère de la Transition Écologique et de la cohésion des territoires afin de délivrer des recommandations pratiques aux particuliers pour lutter contre les infestations aux punaises de lit ;
- de mettre en place des campagnes d'information dans les lieux d'accueil du public (écoles, crèches, logements sociaux, logements étudiants, hôtels, moyens de transport, plateformes de réservation en ligne, etc.) sur l'ensemble du territoire, via des supports adaptés aux publics cibles ;
- de sensibiliser les acheteurs et les vendeurs d'objets d'occasion (sur les lieux de brocantes et les sites internet de vente d'objets de seconde main) aux risques d'infestation par les punaises de lit via des campagnes de prévention (par les mairies par exemple) ;

Information spécifiquement à destination du public concerné par les infestations (particuliers, bailleurs, structures d'hébergement, voyageurs, etc.)

- d'organiser des campagnes d'information destinées aux particuliers et professionnels concernés par les infestations, afin de repérer au plus tôt et lutter contre les infestations (comme déjà prévu dans le plan interministériel de lutte contre les punaises de lit, 2022) ;
- d'adapter les supports de communication afin qu'ils soient compris par le public concerné (e.g. : pictogrammes, tutoriels vidéo, etc.) ;
- de référencer sur le site gouvernemental dédié les différents agréments existants en détaillant leurs formations (thèmes abordés, nombre d'heures de formation, formation théorique et/ou pratique, validation sur terrain, etc.) afin que les particuliers puissent juger de la fiabilité et de l'efficacité de chacun ;
- de réduire le nombre d'agréments présents sur le marché ;
- d'orienter les particuliers vers des professionnels de désinsectisation formés spécifiquement aux punaises de lit ;

Formations à destination des professionnels confrontés aux punaises

- de proposer une formation à l'identification et à la détection d'une infestation par les punaises de lit spécifique pour chaque public cible (corps médical et pharmaciens,

¹⁶² La plateforme numérique « Stop-punaises.betta.gouv.fr », accessible sur le site du Ministère de la Transition Écologique et de la cohésion des territoires fournit des recommandations en matière de prévention et de lutte contre les punaises de lit. Elle est actuellement en test pour le département des Bouches du Rhône.

Le Ministère fournit également une information pour accompagner les particuliers sur son site : [Punaises de lit ? L'Etat vous accompagne | Ministères Énergie Territoires \(ecologie.gouv.fr\)](http://Punaises de lit ? L'Etat vous accompagne | Ministères Énergie Territoires (ecologie.gouv.fr))

- personnel hôtelier, personnel d'entretien et de nettoyage des trains, écoles, aides à domicile, etc.) ;
- de former des professionnels de santé à la prise en charge des conséquences médico-psychologiques des infestations aux punaises de lit ;
 - de former des entomologistes médicaux et de créer des postes à l'hôpital pour réaliser des consultations en entomologie médicale et faire reconnaître cette spécialité ;
 - de former des acteurs de terrain en ingénierie sociale (associations, régies de quartiers, etc.) à la problématique des punaises de lit, et de favoriser les initiatives associatives de prévention, écoute, soutien moral et logistique, etc.

11.3 En matière de détection et de diagnostic

Considérant :

- la nécessité de détecter et d'identifier formellement les punaises de lit sur les sites d'infestation ;
- la nécessité d'harmoniser les pratiques de diagnostic ;

le GT « Punaises de lit » recommande :

- de privilégier le diagnostic de certitude réalisé par des personnes formées ;
- d'utiliser une échelle commune d'évaluation de la répartition des punaises dans l'habitat, orientant les mesures à mettre en place ;
- d'évaluer la possibilité d'instaurer un diagnostic obligatoire par un agent formé et habilité (diagnostiqueur, bailleur, agent d'entretien, etc.) au moment de l'arrivée d'un nouvel occupant dans un logement ou lieu de séjour.

11.4 En matière de lutte

Considérant que :

- aucune méthode ne peut être efficace à elle seule pour éliminer les punaises de lit d'un habitat infesté ;
- l'ensemble des méthodes existantes constitue un panel d'outils à utiliser d'une manière adaptée selon l'objet ou le lieu infesté et le niveau d'infestation ;
- l'usage intensif d'un insecticide nuit à son efficacité en augmentant le risque de sélection d'individus résistants ;
- l'effet répulsif de certains insecticides favorise la dispersion des punaises ;
- la lutte chimique peut avoir des effets sur la santé humaine et l'environnement ;

le GT « Punaises de lit » recommande :

- de privilégier la lutte physique (mécanique et thermique) et de la renouveler autant que nécessaire ;
- de faire appel à des professionnels de la désinsectisation en cas de persistance de l'infestation (voir la position divergente d'un expert du GT sur ce point en Annexe 13) ;
- de ne pas considérer les répulsifs comme une méthode de lutte contre les infestations ;

- de proposer, sur la base de l'évaluation de l'efficacité des différentes méthodes de lutte (cf. § 7) des protocoles types d'intervention¹⁶³ (à destination des particuliers, des bailleurs, des Agences Régionales de Santé, etc.) ;
- de contrôler les bonnes pratiques des professionnels de désinsectisation, même en présence de formations/labels ;
- de permettre par voie réglementaire à un agent formé et habilité « punaises » d'accéder aux logements attenants (même étage, étages supérieur et inférieur) lors d'une intervention en immeuble, pour procéder à une inspection avant l'intervention.

11.5 En matière de surveillance

Considérant la nécessité de mieux connaître la répartition des infestations de punaises de lit au niveau national et son évolution, le GT « Punaises de lit » recommande :

- de mettre en place un observatoire¹⁶⁴ des infestations aux punaises de lit dont l'objectif serait de recenser et de suivre la propagation des infestations au niveau national et qu'il dispose pour cela d'outils numériques adaptés : développement d'un site et le développement éventuel en parallèle d'une application permettant d'effectuer des déclarations en ligne, notamment avec géolocalisation et référencement précis (couplage éventuel avec la base de donnée fiscale des logements et leur numérotation) et permettant l'usage de systèmes d'information géographique (S.I.G).

Ce dispositif de déclarations d'infestation devra être ouvert aux différents acteurs concernés (particuliers¹⁶⁵, professionnels de la désinsectisation, professionnels du logement, responsables de lieux d'accueil collectif - crèches, écoles, cinémas, trains, prisons, etc.). Chaque déclaration devra être associée à des justificatifs (photos de l'infestation et/ou un constat réalisé par un professionnel qualifié) et à un questionnaire visant à caractériser l'origine supposée de l'infestation ;

- d'informer les professionnels de santé (médecins, pharmaciens, etc.) de l'existence d'un observatoire des infestations aux punaises de lit, afin qu'ils incitent les personnes concernées à déclarer leur infestation ;
- de rendre la déclaration (à l'observatoire mentionné supra) des interventions des désinsectiseurs liées aux punaises de lit obligatoire et de permettre un recouplement avec les données récoltées par l'observatoire (à travers les déclarations des particuliers), voire un enrichissement de ces dernières, en veillant toutefois à éviter le risque de double comptabilisation.

11.6 En matière de recherche

Conformément au Plan d'action interministériel de lutte contre les punaises de lit (2022), les ministères de la Transition écologique, des Solidarités et de la Santé et de l'Enseignement

¹⁶³ Ces protocoles pourront être publiés sur le site stop-punaises.gouv qui comprendra à compter de 2023 un espace dédié sur les connaissances scientifiques.

¹⁶⁴ Dans le cadre du plan national de lutte contre les infestations de punaises de lit, un premier observatoire a été lancé par la start-up d'état « Histologe », qui travaille sur la question de l'habitat indigne.

¹⁶⁵ À titre d'exemple, voir l'outil de déclaration lié à l'habitat, dont les punaises de lit, mis en place par la ville de New York [Home HPD Enforcement Desk \(dynamics365portals.us\)](https://dynamics365portals.us).

supérieur, de la Recherche et de l'Innovation mettront en place, dès 2023, en s'appuyant sur la présente expertise, des actions de recherche et d'innovation afin de compléter les connaissances biologiques et comportementales sur la punaise de lit et de progresser sur les moyens de détection et d'élimination.

Considérant la nécessité :

- de caractériser l'efficacité des traitements contre les punaises de lit, notamment en conditions naturelles d'infestation ;
- d'améliorer les données disponibles pour évaluer les impacts socio-économiques des infestations aux punaises de lit ;
- de mieux connaître la bio-écologie des punaises de lit, la résistance des populations de punaises sauvages en France et les mécanismes de résistance aux insecticides ;
- de disposer d'alternatives de lutte respectueuses de la santé de l'être humain et de l'environnement ;

le GT « Punaises de lit » recommande :

En matière de connaissances biologiques et comportementales sur la punaise de lit

- d'étudier la génétique des populations de punaises, afin de comprendre la circulation des punaises de lit au sein d'un quartier ou d'une ville, ou la dispersion des punaises en réponse aux méthodes de lutte utilisées ;
- de réaliser une étude nationale pour cartographier, dans les populations sauvages, la présence et l'évolution du niveau de résistance aux diverses classes d'insecticides, et d'avoir et de maintenir sur du long terme des lignées résistantes de référence, afin de comparer les résistances et leur évolution ;

En matière de moyens de détection

- de développer des outils de détection des punaises, basés sur des solutions innovantes (e.g., identification des empreintes chimiques de ces insectes dans l'air ambiant) ;

En matière de lutte contre les punaises

- d'encourager les études sur l'évaluation de l'efficacité et de l'applicabilité des méthodes de lutte (physique, biologique et méthodes de lutte combinées) en conditions réelles (dans des habitats infestés) ;
- de développer des méthodes et outils alternatifs pour limiter le recours à la lutte chimique ;
- de faire évoluer les documents guides appliqués dans le cadre de la réglementation européenne (règlement (UE) 528/2012) pour que les insecticides utilisés pour lutter contre les punaises de lit soient testés sur des lignées sauvages dont le degré de résistance est connu ;

En matière d'impacts sanitaires et socio-économiques

- de mieux caractériser les conséquences médico-psychologiques des infestations, dans le but de mieux les prendre en charge. Cela peut passer notamment par le développement

- d'un outil commun pour évaluer les impacts médico-psychologiques d'insectes dans un logement ;
- de mieux caractériser les impacts socio-économiques des infestations afin de les réduire et de mieux les prendre en charge en exploitant les données issues de l'observatoire.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail et par le comité d'experts spécialisé : 25 mai 2023

12 Bibliographie

- Aak, Anders, Bjørn A. Rukke, Arnulf Soleng, et Marte K. Rosnes. 2014. « Questing activity in bed bug populations: male and female responses to host signals ». *Physiological Entomology* 39 (3) : 199-207.
- Aak, Anders, Espen Roligheten, Bjørn Arne Rukke, et Tone Birkemoe. 2017. « Desiccant dust and the use of CO₂ gas as a mobility stimulant for bed bugs: a potential control solution? ». *Journal of Pest Science* 90 : 249-59.
- Aak, Anders, Morten Hage, et Bjørn Arne Rukke. 2018. « Insect pathogenic fungi and bed bugs: behaviour, horizontal transfer and the potential contribution to IPM solutions ». *Journal of Pest Science* 91 : 823-35.
- Abbar, Salehe, Changlu Wang, et Richard Cooper. 2020. « Evaluation of a non-chemical compared to a non-chemical plus silica gel approach to bed bug management ». *Insects* 11 (7) : 443.
- Agarwal, Ritu, Che-Wei Liu, et Kislava Prasad. 2019. « Personal research, second opinions, and the diagnostic effort of experts ». *Journal of Economic Behavior & Organization* 158 (février) : 44-61. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2809834>
- Aichi, L., et J. F. Husson. 2015. « Pollution de l'air: le coût de l'inaction. Rapport pour la commission d'enquête sur le coût économique et financier de la pollution de l'air pour le sénat, (610), 1-14., 306 p. »
- Akerlof, George A. 1970. « The market for lemons quality uncertainty and the market mechanism ». *The Quarterly Journal of Economics* 84 (3) : 488-500.
- Akhoundi, Mohammad, Christiane Bruel, et Arezki Izri. 2019. « Harmful effects of bed bug-killing method of diatomaceous earth on human health ». *Journal of Insect Science* 19 (5) : 13.
- Akhoundi, Mohammad, Denis Sereno, Anthony Marteau, Christiane Bruel, et Arezki Izri. 2020. « Who bites me? A tentative discriminative key to diagnose hematophagous ectoparasites biting using clinical manifestations ». *Diagnostics* 10 (5) : 308.
- Akhoundi, Mohammad, Dahlia Chebbah, Denis Sereno, Anthony Marteau, Julie Jan, Christiane Bruel, Nohal Elissa, et Arezki Izri. 2021. « Widespread Mutations in Voltage-Gated Sodium Channel Gene of *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) Populations in Paris ». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (2) : 407. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020407>.
- Akhtar, Yasmin, et Murray B. Isman. 2013. « Horizontal transfer of diatomaceous earth and botanical insecticides in the common bed bug, *Cimex lectularius* L.; Hemiptera: Cimicidae ». *PLOS one* 8 (9) : e75626.
- Akhtar, Yasmin, et Murray B. Isman. 2016. « Efficacy of diatomaceous earth and a DE-aerosol formulation against the common bed bug, *Cimex lectularius* Linnaeus in the laboratory ». *Journal of Pest Science* 89 : 1013-21.
- Anderson, J. F., F. J. Ferrandino, S. McKnight, J. Nolen, et J. Miller. 2009. « A carbon dioxide, heat and chemical lure trap for the bedbug, *Cimex lectularius* ». *Medical and Veterinary Entomology* 23 (2) : 99-105.
- Anderson, J. F., et Richard S. Cowles. 2012. « Susceptibility of *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) to pyrethroid insecticides and to insecticidal dusts with or without pyrethroid insecticides ». *Journal of Economic Entomology* 105 (5) : 1789-95.
- Anderson, J. F., Francis J. Ferrandino, Michael P. Vasil, Robert H. Bedoukian, Marie Maher, et Karen McKenzie. 2018. « Repellency of naturally occurring or related compounds, DEET, and paramenthane-3, 8-diol to bed bugs (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Medical Entomology* 55 (3) : 666-72.
- Anses. 2020. « État des connaissances sur les impacts sanitaires, et les coûts associés, à l'ambroisie à feuilles d'armoise en France ». (saisine n°2018-SA-0088). Maisons-Alfort : Anses, 297 p.

- Anses. 2022. « Intoxications par les produits utilisés dans le cadre de la lutte contre les punaises de lit. Analyse des cas enregistrés par les Centres antipoison et de toxicovigilance français du 1er janvier 1999 au 31 décembre 2021 ». (saisine 2021-SA-0147). Maisons-Alfort : Anses, 34 p.
- Arrow, KENNETH J. 1963. « Uncertainty and the welfare economics of medical care ». *American Economic Review* 53 (5) : 941-73.
- Ashbrook, Aaron R., Michael E. Scharf, Gary W. Bennett, et Ameya D. Gondhalekar. 2019. « Bed bugs (*Cimex lectularius* L.) exhibit limited ability to develop heat resistance ». *PLOS one* 14 (2) : e0211677.
- Ashbrook, Aaron R., Jeffrey L. Feder, Michael E. Scharf, Gary W. Bennett, et Ameya D. Gondhalekar. 2022. « Characterization of heat exposure-associated escape behaviors and HSP gene expression in bed bugs (*Cimex lectularius* L.) ». *Pest Management Science* 78 (1) : 205-16.
- Ashcroft, Rachelle, Yukari Seko, Lai Fong Chan, Jessica Dere, Jaemin Kim, et Kwame McKenzie. 2015. « The mental health impact of bed bug infestations: a scoping review ». *International journal of public health* 60 : 827-37.
- Audibert, Martine. 2009. « Evaluation de la lutte anti-vectorielle : approche économique ». *Médecine Tropicale* 69 (2) : 185-93.
- Bagwell, Kyle, et Michael H. Riordan. 1991. « High and declining prices signal product quality ». *The American Economic Review* 81 (1) : 224-39.
- Balafoutas, Loukas, et Rudolf Kerschbamer. 2020. « Credence goods in the literature: What the past fifteen years have taught us about fraud, incentives, and the role of institutions ». *Journal of Behavioral and Experimental Finance* 26 (juin) : 100285. <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2020.100285>
- Balvín, Ondřej, et Warren Booth. 2018. « Distribution and frequency of pyrethroid resistance-associated mutations in host lineages of the bed bug (Hemiptera: Cimicidae) across Europe ». *Journal of Medical Entomology* 55 (4) : 923-28.
- Barbarin, Alexis M., Nina E. Jenkins, Edwin G. Rajotte, et Matthew B. Thomas. 2012. « A preliminary evaluation of the potential of Beauveria bassiana for bed bug control ». *Journal of invertebrate pathology* 111 (1) : 82-85.
- Barbarin, Alexis M., Giovani S. Bellicanta, Jason A. Osborne, Coby Schal, et Nina E. Jenkins. 2017. « Susceptibility of insecticide-resistant bed bugs (*Cimex lectularius*) to infection by fungal biopesticide ». *Pest Management Science* 73 (8) : 1568-73.
- Benkacimi, Linda, Gladys Gazelle, Basma El Hamzaoui, Jean-Michel Bérenger, Philippe Parola, et Maureen Laroche. 2020. « MALDI-TOF MS identification of *Cimex lectularius* and *Cimex hemipterus* bedbugs ». *Infection, Genetics and Evolution* 85 : 104536.
- Bennett, Gary W., Ameya D. Gondhalekar, Changlu Wang, Grzegorz Buczkowski, et Timothy J. Gibb. 2016. « Using research and education to implement practical bed bug control programs in multifamily housing ». *Pest Management Science* 72 (1) : 8-14.
- Benoit, J. B., G. Lopez-Martinez, N. M. Teets, S. A. Phillips, et D. L. Denlinger. 2009a. « Responses of the bed bug, *Cimex lectularius*, to temperature extremes and dehydration: levels of tolerance, rapid cold hardening and expression of heat shock proteins ». *Medical and Veterinary Entomology* 23 (4) : 418-25.
- Benoit, J. B., Seth A. Phillips, Travis J. Croxall, Brady S. Christensen, Jay A. Yoder, et David L. Denlinger. 2009b. « Addition of alarm pheromone components improves the effectiveness of desiccant dusts against *Cimex lectularius* ». *Journal of Medical Entomology* 46 (3) : 572-79.
- Berry, Raymond. 2021. « The Behavioral Response to Heat in the Common Bed Bug, *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Medical Entomology* 58 (4) : 1626-37.
- Bindra, Parampreet Christopher, Rudolf Kerschbamer, Daniel Neururer, et Matthias Sutter. 2021. « On the value of second opinions: A credence goods field experiment ». *Economics Letters* 205 (août) : 109925. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2021.109925>.
- Blanchon, Thierry, Ophélie Goyonvarch, Florent Hamaide-Defrocourt, Thomas Hanlsik, Titouan Launay, Patricia Lefébure, Romain Pons, et al. 2020. « Etude PULI Consultations liées aux punaises de lit en médecine générale en France métropolitaine, période 2019-2020 - Rapport d'étude ». Paris.

- Blind, Knut, Axel Mangelsdorf, et Jakob Pohlisch. 2018. « The effects of cooperation in accreditation on international trade: Empirical evidence on ISO9000 certifications ». *International Journal of Production Economics* 198 : 50-59.
- Bonroy, Olivier, et Christos Constantatos. 2008. « On the use of labels in credence goods markets ». *Journal of Regulatory Economics* 33 (3) : 237-52. <https://doi.org/10.1007/s11149-008-9058-z>
- Bonroy, Olivier, et Christos Constantatos. 2015. « On the Economics of Labels: How Their Introduction Affects the Functioning of Markets and the Welfare of All Participants ». *American Journal of Agricultural Economics* 97 (1) : 239-59. <https://doi.org/10.1093/ajae/aau088>.
- Brécard, Dorothée. 2014. « Consumer confusion over the profusion of eco-labels: Lessons from a double differentiation model ». *Resource and Energy Economics* 37 (août) : 64-84. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2013.10.002>.
- Brécard, Dorothée. 2017. « Consumer misperception of eco-labels, green market structure and welfare ». *Journal of Regulatory Economics* 51 (3) : 340-64. <https://doi.org/10.1007/s11149-017-9328-8>.
- Brown, J., et D. Loughlin. 2012. « Field study testing the efficacy of Cryonite® against bed bugs *Cimex lectularius* ». *International Pest Control* 54 (4) : 196.
- Burnett, Christina L., Wilma F. Bergfeld, Donald V. Belsito, Curtis D. Klaassen, James G. Marks, Ronald C. Shank, Thomas J. Slaga, Paul W. Snyder, et F. Alan Andersen. 2011. « Final Report on the Safety Assessment of Cocos nucifera (Coconut) Oil and Related Ingredients ». *International Journal of Toxicology* 30 (3_suppl) : 5S-16S. <https://doi.org/10.1177/1091581811400636>
- Burrows, Stephanie, Stéphane Perron, et Stephanie Susser. 2013. « Suicide following an infestation of bed bugs ». *The American Journal of Case Reports* 14 : 176.
- Candy, Kerdalidec, Mohammad Akhouni, Christiane Bruel, et Arezki Izri. 2018. « Ineffectiveness of Insecticide Bendiocarb Against a *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) Population in Paris, France ». *Journal of Medical Entomology* 55 (6) : 1648-50. <https://doi.org/10.1093/jme/tjy126>.
- Cannon, Catherine, Susan Stejskal, et Katelynn A. Perrault. 2020. « The volatile organic compound profile from *Cimex lectularius* in relation to bed bug detection canines ». *Forensic Chemistry* 18 : 100214.
- Castellano, Sylvaine, et Vincent Dutot. 2017. « Investigating the Influence of E-Word-of-Mouth on E-Reputation ». *International Studies of Management & Organization* 47 (1) : 42-60. <https://doi.org/10.1080/00208825.2017.1241088>.
- Caswell, Julie A., et Eliza M. Mojdzuska. 1996. « Using Informational Labeling to Influence the Market for Quality in Food Products ». *American Journal of Agricultural Economics* 78 (5) : 1248-53. <https://doi.org/10.2307/1243501>.
- Center for Disease Control and Prevention. 2011. « Centers for Disease Control and Prevention - Morbidity and Mortality Weekly Report - Acute Illnesses Associated With Insecticides Used to Control Bed Bugs — Seven States, 2003–2010 ».
- Chan, Yuk-Shee, et Hayne Leland. 1982. « Prices and Qualities in Markets with Costly Information ». *The Review of Economic Studies* 49 (4) : 499-516. <https://doi.org/10.2307/2297283>
- Chebbah, Dahlia, Nohal Elissa, Patrick Nicolas, Youhann Vingataramin, Anthony Marteau, Julie Jan, Arezki Izri, et Mohammad Akhouni. 2021. « Rapid control method of bed bugs infestation by freezing ». *Travel medicine and infectious disease* 42 : 102065.
- Chebbah, Dahlia, Nohal Elissa, Patrick Nicolas, Vincent Levy, Youhann Vingataramin, Amal Bennouna, Julie Jan, Arezki Izri et Mohammad Akhouni. 2023. « Effectiveness of heat treatment in rapid control of bed bugs in environmental conditions resembling their natural habitats ». *International Journal of Environmental Health Research*:1-9. <https://doi.org/10.1080/09603123.2023.2205106>.
- Chiang, Shih-Chen, et Robert T. Masson. 1988. « Domestic Industrial Structure and Export Quality ». *International Economic Review* 29 (2) : 261-70. <https://doi.org/10.2307/2526665>.
- Choe, Dong-Hwan, Hoeun Park, Claudia Vo, et Alexander Knyshov. 2016. « Chemically Mediated Arrestment of the Bed Bug, *Cimex lectularius*, by Volatiles Associated with Exuviae of Conspecifics ». Sous la direction de Giancarlo López-Martínez. *PLOS ONE* 11 (7) : e0159520. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159520>.

- Clément, O., CL. Le Pen, et T. Barnay. 2010. « Actualisation partielle du Guide méthodologique pour l'évaluation économique des stratégies de santé, Collège des Economistes de la Santé, 119 p. »
- CNEV. 2015. « Punaises de lit en France : état des lieux et recommandations ». *Centre National d'Expertise sur les Vecteurs*, 69 p.
- Collins, R. P. 1968. « Carbonyl compounds produced by the bed bug, *Cimex lectularius* ». *Annals of the Entomological Society of America* 61 (5) : 1338-40.
- Cooper, Russell, et Thomas W. Ross. 1984. « Prices, Product Qualities and Asymmetric Information: The Competitive Case ». *The Review of Economic Studies* 51 (2) : 197-207. <https://doi.org/10.2307/2297687>.
- Cooper, Russell, et Thomas W. Ross. 1985. « Monopoly provision of product quality with uninformed buyers ». *International Journal of Industrial Organization* 3 (4) : 439-49. [https://doi.org/10.1016/0167-7187\(85\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0167-7187(85)90034-7)
- Cooper, R., Changlu Wang, et Narinderpal Singh. 2014. « Accuracy of trained canines for detecting bed bugs (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Economic Entomology* 107 (6) : 2171-81.
- Cooper, R., Changlu Wang, et Narinderpal Singh. 2015. « Mark-release-recapture reveals extensive movement of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) within and between apartments ». *PLOS one* 10 (9) : e0136462.
- Cooper, R., Changlu Wang, et Narinderpal Singh. 2016a. « Effects of various interventions, including mass trapping with passive pitfall traps, on low-level bed bug populations in apartments ». *Journal of Economic Entomology* 109 (2) : 762-69.
- Cooper, R., Changlu Wang, et Narinderpal Singh. 2016b. « Evaluation of a model community-wide bed bug management program in affordable housing ». *Pest Management Science* 72 (1) : 45-56.
- Cooper, R., et Changlu Wang. 2018. « Detection and Monitoring ». Dans *Advances in the Biology and Management of Modern Bed Bugs*. Sous la direction de Stephen L. Doggett, Dini M. Miller, et Chow-Yang Lee, 241-55. Chichester, UK : John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119171539.ch27>
- Coste, J., et A. Spira. 1991. « Proportion of cases attributable to public health: definition (s), estimation (s) and interpretation ». *Revue d'épidémiologie et de santé publique* 39 (4) : 399-411.
- Crawley, Sydney E. 2016. « The Chemical Ecology of Bed Bugs (*Cimex lectularius*, L.) and the Impact of a Neurotoxic Insecticide on Physiology and Behavior ». *Theses and Dissertations--Entomology*, 1 janvier 2016. <https://doi.org/10.13023/ETD.2016.499>.
- Crawley, Sydney E., et John H. Borden. 2021. « Detection and monitoring of bed bugs (Hemiptera: Cimicidae): review of the underlying science, existing products and future prospects ». *Pest Management Science* 77 (12) : 5334-46.
- Crespi, John M., et Stephan Marette, dir. 2003. « SOME ECONOMIC IMPLICATIONS OF PUBLIC LABELING ». *Journal of Food Distribution Research*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.27053>.
- CSTB. 2022. « Procédé de détection de punaises de lit ». Brevet déposé à l'INPI sous le numéro FR20209803, septembre 2022.
- Dang, Kai, Stephen L. Doggett, G. Veera Singham, et Chow-Yang Lee. 2017. « Insecticide resistance and resistance mechanisms in bed bugs, *Cimex* spp.(Hemiptera: Cimicidae) ». *Parasites & vectors* 10 : 1-31.
- Darby, Michael R., et Edi Karni. 1973. « Free Competition and the Optimal amount of Fraud ». *The Journal of Law & Economics* 16 (1) : 67-88.
- DeGennaro, Matthew. 2015. « The mysterious multi-modal repellency of DEET ». *Fly* 9 (1) : 45-51.
- Delaunay, P., Véronique Blanc, Pascal Del Giudice, Anna Levy-Bencheton, Olivier Chosidow, Pierre Marty, et Philippe Brouqui. 2011. « Bedbugs and infectious diseases ». *Clinical Infectious Diseases* 52 (2) : 200-210.
- Delaunay, P., J.m. Berenger, Arezki Izri, F. Jourdain, Y. Perrin, et V. Robert. 2015. « Les punaises de lit *Cimex lectularius* et *Cimex hemipterus* - Biologie, lutte et santé publique. » Cnev.
- Dery, Mark, et Dong-Hwan Choe. 2022. « Effect of bed bug (Hemiptera: Cimicidae) aldehydes on efficacy of fungal biopesticides ». *Journal of Economic Entomology*.

- Destination BC Corp. 2014. « Tourism Business Essentials - Online Reputation Management ». https://www.destinationbc.ca/content/uploads/2018/08/TBEGuide_ORM2014_SEPT29_LINKED-compressed.pdf.
- DeVries, Zachary C., Russell Mick, et Coby Schal. 2016. « Feel the heat: activation, orientation and feeding responses of bed bugs to targets at different temperatures ». *Journal of Experimental Biology* 219 (23) : 3773-80.
- Dewally, Michaël, et Louis Ederington. 2006. « Reputation, Certification, Warranties, and Information as Remedies for Seller-Buyer Information Asymmetries: Lessons from the Online Comic Book Market ». *The Journal of Business* 79 (2) : 693-729.
- Doggett, Stephen L., Merilyn J. Geary, et Richard C. Russell. 2006. « Encasing mattresses in black plastic will not provide thermal control of bed bugs, *Cimex* spp.(Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Economic Entomology* 99 (6) : 2132-35.
- Doggett, Stephen L., et Richard C. Russell. 2008. « THE RESURGENCE OF BED BUGS, CIMEX SPP. (HEMIPTERA: CIMICIDAE) IN AUSTRALIA ».
- Doggett, Stephen L., Dominic E. Dwyer, Pablo F. Peñas, et Richard C. Russell. 2012. « Bed bugs: clinical relevance and control options ». *Clinical microbiology reviews* 25 (1) : 164-92.
- Drummond, Michael F., Mark Sculpher, Karl Claxton, Greg L. Stoddart, et George Walter Torrance. 2015. *Methods for the economic evaluation of health care programmes*. Fourth edition. Oxford New York : Oxford University Press.
- Dulleck, Uwe, et Rudolf Kerschbamer. 2006. « On Doctors, Mechanics, and Computer Specialists: The Economics of Credence Goods ». *Journal of Economic Literature* 44 (1) : 5-42. <https://doi.org/10.1257/002205106776162717>.
- Durand, R., A. Cannet, Z. Berdjane, C. Bruel, D. Haouchine, P. Delaunay, et A. Izri. 2012. « Infestation by pyrethroids resistant bed bugs in the suburb of Paris, France ». *Parasite* 19 (4) : 381-87. <https://doi.org/10.1051/parasite/2012194381>.
- Efsa. 2010. « Application of systematic review methodology to food and feed safety assessments to support decision making ». *EFSA Journal* 8 (6). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1637>.
- Elfenbein, Daniel W., Raymond Fisman, et Brian McManus. 2015. « Market structure, Reputation, and the Value of Quality Certification ». *American Economic Journal: Microeconomics* 7 (4) : 83-108.
- Emons, Winand. 1997. « Credence Goods and Fraudulent Experts ». *The RAND Journal of Economics* 28 (1) : 107-19. <https://doi.org/10.2307/2555942>.
- Emons, Winand. 2001. « Credence goods monopolists ». *International Journal of Industrial Organization* 19 (3) : 375-89. [https://doi.org/10.1016/S0167-7187\(99\)00023-5](https://doi.org/10.1016/S0167-7187(99)00023-5).
- Eom, In-Yong, Sanja Risticevic, et Janusz Pawliszyn. 2012. « Simultaneous sampling and analysis of indoor air infested with *Cimex lectularius* L.(Hemiptera: Cimicidae) by solid phase microextraction, thin film microextraction and needle trap device ». *Analytica chimica acta* 716 : 2-10.
- Fanasch, Patrizia, et Bernd Frick. 2020. « The value of signals: Do self-declaration and certification generate price premiums for organic and biodynamic wines ? » *Journal of Cleaner Production* 249.
- Feldlaufer, Mark F., et Catherine Loudon. 2011. « Undesirable dispersal of eggs and early-stage nymphs of the bed bug (Hemiptera: Cimicidae) by static electricity and air currents ». *Journal of Entomological Science* 46 (2) : 169-70.
- Feldlaufer, Mark F., Michael J. Domingue, Kamlesh R. Chauhan, et Jeffrey R. Aldrich. 2014. « 4-Oxo-aldehydes from the dorsal abdominal glands of the bed bug (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Medical Entomology* 47 (2) : 140-43.
- Feston, James, Sudip Gaire, Mahsa Fardisi, Linda J. Mason, et Ameya D. Gondhalekar. 2020. « Determining baseline toxicity of ozone against an insecticide-susceptible strain of the common bed bug, *Cimex lectularius* L. under laboratory conditions ». *Pest Management Science* 76 (9) : 3108-16.
- Fischer, Carolyn, et Thomas P. Lyon. 2014. « Competing Environmental Labels ». *Journal of Economics & Management Strategy* 23 (3) : 692-716. <https://doi.org/10.1111/jems.12061>.

- Francischetti, Ivo MB, Eric Calvo, John F. Andersen, Van M. Pham, Amanda J. Favreau, Kent D. Barbian, Alvaro Romero, Jesus G. Valenzuela, et José MC Ribeiro. 2010. « Insight into the sialome of the bed bug, *Cimex lectularius* ». *Journal of proteome research* 9 (8) : 3820-31.
- Fung, Eddy Hin Chung, Siu Wai Chiu, Hon-Ming Lam, Roger Yat-Nork Chung, Samuel Yeung Shan Wong, Siu Ming Chan, Dong Dong, et Hung Wong. 2021. « The impact of bedbug (*Cimex* spp.) bites on self-rated health and average hours of sleep per day: A cross-sectional study among Hong Kong Bedbug Victims ». *Insects* 12 (11) : 1027.
- Fung, Eddy Hin Chung, Hung Wong, Siu Wai Chiu, Jerome Ho Lam Hui, Hon Ming Lam, Roger Yat-nork Chung, Samuel Yeung-shan Wong, et Siu Ming Chan. 2022. « Risk factors associated with bedbug (*Cimex* spp.) infestations among Hong Kong households: a cross-sectional study ». *Journal of Housing and the Built Environment* 37 (3) : 1411-29. <https://doi.org/10.1007/s10901-021-09894-1>.
- Gbakima, A. A., B. C. Terry, F. Kanja, S. Kortequée, I. Dukuley, et F. Sahr. 2002. « High prevalence of bedbugs *Cimex hemipterus* and *Cimex lectularis* in camps for internally displaced persons in Freetown, Sierra Leone: a pilot humanitarian investigation ». *West African journal of medicine* 21 (4) : 268-71.
- Goddard, Jerome, et Richard deshazo. 2009. « Bed bugs (*Cimex lectularius*) and clinical consequences of their bites ». *Jama* 301 (13) : 1358-66.
- Goddard, Jerome, et Richard deShazo. 2012. « Psychological effects of bed bug attacks (*Cimex lectularius* L.) ». *The American journal of medicine* 125 (1) : 101-3.
- Gordon, Jennifer R., Mark H. Goodman, Michael F. Potter, et Kenneth F. Haynes. 2014. « Population variation in and selection for resistance to pyrethroid-neonicotinoid insecticides in the bed bug ». *Scientific Reports* 4 (1) : 1-7.
- Gordon, Jennifer R., Michael F. Potter, et Kenneth F. Haynes. 2015. « Insecticide resistance in the bed bug comes with a cost ». *Scientific Reports* 5 (1) : 10807.
- Gottschalk, Felix, Wanda Mimra, et Christian Waibel. 2020. « Health Services as Credence Goods: a Field Experiment ». *The Economic Journal* 130 (629) : 1346-83. <https://doi.org/10.1093/ej/ueaa024>.
- Gounder, Prabhu, Nancy Ralph, Andrew Maroko, et Lorna Thorpe. 2014. « Bedbug Complaints among Public Housing Residents—New York City, 2010–2011 ». *Journal of Urban Health* 91 (6) : 1076-86. <https://doi.org/10.1007/s11524-013-9859-y>.
- Gries, Regine, Robert Britton, Michael Holmes, Huiimin Zhai, Jason Draper, et Gerhard Gries. 2015. « Bed bug aggregation pheromone finally identified ». *Angewandte Chemie* 127 (4) : 1151-54.
- Guerenstein, Pablo G., et John G. Hildebrand. 2008. « Roles and effects of environmental carbon dioxide in insect life ». *Annu. Rev. Entomol.* 53 : 161-78.
- Guidobaldi, Fabio, Irving Jesus May-Concha, et Pablo Gustavo Guerenstein. 2014. « Morphology and physiology of the olfactory system of blood-feeding insects ». *Journal of Physiology-Paris* 108 (2-3) : 96-111.
- Gyödi, Kristóf. 2019. « Airbnb in European cities: Business as usual or true sharing economy? » *Journal of Cleaner Production* 221 (juin) : 536-51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.221>.
- Hahn, Sunku. 2004. « The Advertising of Credence Goods as a Signal of Product Quality ». *The Manchester School* 72 (1) : 50-59. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9957.2004.00379.x>.
- Hamilton, Stephen F., et David Zilberman. 2006. « Green markets, eco-certification, and equilibrium fraud ». *Journal of Environmental Economics and Management* 52 (3) : 627-44. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2006.05.002>.
- Harraca, Vincent, Rickard Ignell, Christer Löfstedt, et Camilla Ryne. 2010. « Characterization of the antennal olfactory system of the bed bug (*Cimex lectularius*) ». *Chemical senses* 35 (3) : 195-204.
- Harraca, Vincent, Camilla Ryne, Göran Birgersson, et Rickard Ignell. 2012. « Smelling your way to food: can bed bugs use our odour? » *Journal of Experimental Biology* 215 (4) : 623-29.
- Haute Autorité de Santé. 2020. « (2020), Evaluer les technologies de santé - Guide méthodologique - Choix méthodologiques pour l'évaluation économique à la HAS ». Consulté le 2020.

- https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2020-07/guide_methodologique_evaluation_economique_has_2020_vf.pdf.
- Haynes, K. F. 2008. « The secret life of bed bugs: sublethal effects of insecticides on bed bug behavior ». *PestWorld (Mar/Apr)* 58.
- Hickin, Mauri L., Madhavi L. Kakumanu et Coby Schal. 2022. "Effects of Wolbachia elimination and B-vitamin supplementation on bed bug development and reproduction." *Scientific Reports* 12 (1): 10270. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14505-2>.
- Hosokawa, Takahiro, Ryuichi Koga, Yoshitomo Kikuchi, Xian-Ying Meng et Takema Fukatsu. 2010. "Wolbachia as a bacteriocyte-associated nutritional mutualist." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107 (2): 769-774. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.0911476107>.
- How, Yee-Fatt, et Chow-Yang Lee. 2010a. « Effects of life stages and feeding regimes on active movement behavior of the tropical bed bug, *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Medical Entomology* 47 (3) : 305-12.
- How, Yee-Fatt, et Chow-Yang Lee. 2010b. « Effects of temperature and humidity on the survival and water loss of *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Medical Entomology* 47 (6) : 987-95.
- How, Yee-Fatt, et Chow-Yang Lee. 2011. « Surface contact toxicity and synergism of several insecticides against different stages of the tropical bed bug, *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae) ». *Pest Management Science* 67 (6) : 734-40.
- Huck, Steffen, Gabriele K. Lünser, et Jean-Robert Tyran. 2016. « Price competition and reputation in markets for experience goods: an experimental study ». *RAND Journal of Economics* 47 (1) : 99-117.
- Hwang, Stephen W., Tomislav J. Svoboda, Iain J. De Jong, Karl J. Kabasele, et Evie Gogosis. 2005. « Bed Bug Infestations in an Urban Environment ». *Emerging Infectious Diseases* 11 (4) : 533-38. <https://doi.org/10.3201/eid1104.041126>.
- Inca, et Franck Amalric. 2007. « Analyse économique des coûts du cancer en France. Impact sur la qualité de vie, prévention, dépistage, soins, recherche ». Etudes et Expertises. Boulogne-Billancourt.
- Ipsos. 2021. « Les Français face aux punaises de lit ». https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2021-03/rapport_ipso_pour_badbug.fr_010321_revue - bis.pdf.
- Izri, Arezki, Anthony Marteau, Theo Ferreira, Christiane Bruel, Ruben Benainous, Robin Dhote, et Mohammad Akhouni. 2020. « Severe anemia due to bed bugs hyperinfestation ». *Microbial pathogenesis* 149 : 104564.
- Jaskold Gabszewicz, J, et J. -F Thisse. 1979. « Price competition, quality and income disparities ». *Journal of Economic Theory* 20 (3) : 340-59. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(79\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0022-0531(79)90041-3).
- Jaskold Gabszewicz, J, et J. -F Thisse. 1980. « Entry (and exit) in a differentiated industry ». *Journal of Economic Theory* 22 (2) : 327-38. [https://doi.org/10.1016/0022-0531\(80\)90046-0](https://doi.org/10.1016/0022-0531(80)90046-0).
- Jo, Changik. 2014. « Cost-of-illness studies: concepts, scopes, and methods ». *Clinical and Molecular Hepatology* 20 (4) : 327. <https://doi.org/10.3350/cmh.2014.20.4.327>.
- Jolivet, Grégory, Bruno Jullien, et Fabien Postel-Vinay. 2016. « Reputation and prices on the e-market: Evidence from a major French platform ». *International Journal of Industrial Organization* 45 : 59-75.
- Jun, Seung-Pyo, Hyoung Sun Yoo, et San Choi. 2018. « Ten years of research change using Google Trends: From the perspective of big data utilizations and applications ». *Technological Forecasting and Social Change* 130 (mai) : 69-87. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.11.009>.
- Kells, Stephen A., et Michael J. Goblirsch. 2011. « Temperature and time requirements for controlling bed bugs (*Cimex lectularius*) under commercial heat treatment conditions ». *Insects* 2 (3) : 412-22.
- Kilpinen, Ole, Dezhao Liu, et Anders Peter S. Adamsen. 2012. « Real-time measurement of volatile chemicals released by bed bugs during mating activities ». *PLOS one* 7 (12) : e50981.

- Klein, Benjamin, et Keith B. Leffler. 1981. s. d. « The Role of Market Forces in Assuring Contractual Performance | Journal of Political Economy: Vol 89, No 4 ». <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1086/260996>.
- Kong, Delong, Dongliang Han, Ruyue Zhai, Changlu Wang, Jingsheng Zhang, Yanwei Xia, Xiaoge Nian, Chaofeng Liu, Yurong He, et Desen Wang. 2022. « A case study on tropical bed bug, *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae) infestation and management in dormitories ». *Journal of Economic Entomology*.
- Kongmee, Monthathip, Kanutcharee Thanispong, Sunaiyana Sathantriphop, Chutipong Sukkanon, Michael J. Bangs, et Theeraphap Chareonviriyaphap. 2019. « Enhanced mortality in deltamethrin-resistant *Aedes aegypti* in Thailand using a piperonyl butoxide synergist ». *Acta tropica* 189 : 76-83.
- Krüger, Anne, Erik Schmolz, et Arlette Vander Pan. 2021. « Methods for testing repellents against bed bugs (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Economic Entomology* 114 (1) : 265-73.
- Kuronic, Z. 1998. « Diatomaceous earths, a group of natural insecticides. Review ». *J. Stored prod. Res* 34 (2-3) : 87-97.
- Lai, Olivia, Derek Ho, Sharon Glick, et Jared Jagdeo. 2016. « Bed bugs and possible transmission of human pathogens: a systematic review ». *Archives of dermatological research* 308 : 531-38.
- Lancaster, Kelvin J. 1966. « A New Approach to Consumer Theory ». *Journal of Political Economy* 74 (2) : 132-57. <https://www.jstor.org/stable/1828835>.
- Landon, Stuart, et Constance Smith. 1998. « Quality expectations, reputation, and price ». *WP - MPRA*.
- Lazzari, Claudio R. 2009. « Orientation towards hosts in haematophagous insects: an integrative perspective ». *Advances in insect physiology* 37 : 1-58.
- Lazzari, Claudio R. 2019. « The thermal sense of blood-sucking insects: Why physics matters ». *Current opinion in insect science* 34 : 112-16.
- Lazzari, Claudio R. 2020. « In the heat of the night. An ancestral receptor plays a key role in host detection by malaria carrying mosquitoes ». *Science* 367 (6478) : 628-29.
- Leal, Walter S. 2014. « The enigmatic reception of DEET—the gold standard of insect repellents ». *Current opinion in insect science* 6 : 93-98.
- Lehane, Mike J. 2005. *The biology of blood-sucking in insects*. Cambridge University Press.
- LePen, Claude, et Pierre Lévy. 2018. *L'évaluation médico-économique : concepts et méthodes*. Le Grand Métier. Rouen.
- Levinson, Hermann Zacharias, Anna R. Levinson, et U. Machwitz. 1974. « Action and ocmposition of the alarm pheromone of the bedbug *Cimex lectularius* L ». *Die Naturwissenschaften* 61 (12) : 684-85.
- Lévy, E., et G. De Poumourville. 2003. « Guide méthodologique pour l'évaluation économique des stratégies de santé ». Collège des économistes de la santé.
- Lewis, Vernard, Sara Moore, R. Tabuchi, Andrew Sutherland, D. Choe, et Neil Tsutsui. 2013. « Researchers combat resurgence of bed bug in behavioral studies and monitor trials ». *California Agriculture* 67 (3) : 172-78.
- Liedtke, H. Christoph, Kajsa Åbjörnsson, Vincent Harraca, Jette T. Knudsen, Erika A. Wallin, Erik Hedenström, et Camilla Ryne. 2011. « Alarm pheromones and chemical communication in nymphs of the tropical bed bug *Cimex hemipterus* (Hemiptera: Cimicidae) ». *PLOS one* 6 (3) : e18156.
- Lilly, David G., Cameron E. Webb, et Stephen L. Doggett. 2016. « Evidence of tolerance to silica-based desiccant dusts in a pyrethroid-resistant strain of *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) ». *Insects* 7 (4) : 74.
- Liu, Yong-Biao, et Kenneth F. Haynes. 2016. « Effects of ultralow oxygen and vacuum treatments on bed bug (Heteroptera: Cimicidae) survival ». *Journal of Economic Entomology* 109 (3) : 1310-16.
- Loudon, Catherine. 2017. « Rapid killing of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) on surfaces using heat: application to luggage ». *Pest Management Science* 73 (1) : 64-70.
- Lushchak, Volodymyr I., Tetiana M. Matviishyn, Viktor V. Husak, Janet M. Storey, et Kenneth B. Storey. 2018. « Pesticide toxicity: a mechanistic approach ». *EXCLI journal* 17 : 1101.

- Mahenc, Philippe, et Alexandre Volle. 2021. « Price Signaling and Quality Monitoring in Markets for Credence Goods ». <https://hal.inrae.fr/hal-03098440>
- Mankin, R. W., R. D. Hodges, H. T. Nagle, C. Schal, R. M. Pereira, et P. G. Koehler. 2010. « Acoustic Indicators for Targeted Detection of Stored Product and Urban Insect Pests by Inexpensive Infrared, Acoustic, and Vibrational Detection of Movement ». *Journal of Economic Entomology* 103 (5) : 1636-46. <https://doi.org/10.1603/EC10126>.
- Marette, Stephan, Jean-Christophe Bureau, et Estelle Gozlan. 2000. « Product Safety Provision and Consumers' Information ». *Australian Economic Papers* 39 (4) : 426-41. <https://doi.org/10.1111/1467-8454.00102>.
- Marette, Stéphan, John M. Crespi, et Alessandra Schiavina. 1999. « The role of common labelling in a context of asymmetric information ». *European Review of Agricultural Economics* 26 (2) : 167-78.
- Marlatt, C.L. 1916. « USDA Farmers' Bulletin 754 : The Bedbug ». <https://www.gutenberg.org/files/63225/63225-h/63225-h.htm>.
- Mavlanova, Tamilla, Raquel Benbunan-Fich, et Marios Koufaris. 2012. « Signaling theory and information asymmetry in online commerce ». *Information & Management* 49 (5) : 240-47. <https://doi.org/10.1016/j.im.2012.05.004>.
- Mavragani, Amaryllis, et Konstantinos P. Tsagarakis. 2016. « YES or NO: Predicting the 2015 GReferendum results using Google Trends ». *Technological Forecasting and Social Change* 109 (août) : 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.04.028>.
- McLafferty, Sara, Daniel Schneider, et Kathryn Abelt. 2020. « Placing volunteered geographic health information: Socio-spatial bias in 311 bed bug report data for New York City ». *Health & Place* 62 : 102282. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2019.102282>.
- Meftaul, Islam Md, Kadiyala Venkateswarlu, Rajarathnam Dharmarajan, Prasath Annamalai, et Mallavarapu Megharaj. 2020. « Pesticides in the urban environment: A potential threat that knocks at the door ». *Science of the Total Environment* 711 : 134612.
- Mendki, Murlidhar J., K. Ganesan, B. D. Parashar, D. Sukumaran, et Shri Prakash. 2014. « Aggregation responses of *Cimex hemipterus* F. to semiochemicals identified from their excreta ». *Journal of vector borne diseases* 51 (3) : 224.
- Mimra, Wanda, Alexander Rasch, et Christian Waibel. 2016. « Price competition and reputation in credence goods markets: Experimental evidence ». *Games and Economic Behavior* 100 : 337-52.
- Moshaverinia, Ali, Amene Raouf-Rahmati, Lida Jarahi, Robert Bergquist, Andres Zorrilla-Vaca, Fatemeh Kiani, Abbas Jaidoleslami, Stephen L. Doggett, Mehdi Zarean, et Amirhosein Majma. 2022. « Geographical patterns and mechanisms of *Cimex lectularius* Linnaeus, 1758, and *Cimex hemipterus* Fabricius, 1803 (Hemiptera: Cimicidae) resistance to insecticides: a systematic review and meta-analysis ». *Parasitology Research* 121 (7) : 1817-27.
- Naylor, R. A., et C. J. Boase. 2010. « Practical solutions for treating laundry infested with *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Economic Entomology* 103 (1) : 136-39.
- Nelson, Phillip. 1970. « Information and Consumer behavior ». *Journal of Political Economy* 84 (3) : 488-500.
- Nelson, Phillip. 1974. « Advertising as Information ». *Journal of Political Economy* 82 (4) : 729-54.
- Nikoh, Naruo, Takahiro Hosokawa, Minoru Moriyama, Kenshiro Oshima, Masahira Hattori et Takema Fukatsu. 2014. "Evolutionary origin of insect-*Wolbachia* nutritional mutualism." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (28) : 10257-10262. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.1409284111>.
- Olson, Joelle F., Marc Eaton, Stephen A. Kells, Victor Morin, et Changlu Wang. 2013. « Cold tolerance of bed bugs and practical recommendations for control ». *Journal of Economic Entomology* 106 (6) : 2433-41.
- Olson, Joelle F., Roger D. Moon, Stephen A. Kells, et Karen A. Mesce. 2014. « Morphology, ultrastructure and functional role of antennal sensilla in off-host aggregation by the bed bug, *Cimex lectularius* ». *Arthropod Structure & Development* 43 (2) : 117-22.

- Olson, Joelle F. 2015. « Sensory and chemical basis of off-host aggregation behavior by bed bugs, *Cimex lectularius* (L.) ». University of Minnesota.
- Olson, Joelle F, Leonard M Ver Vers, Roger D Moon, et Stephen A Kells. 2017. « Two compounds in bed bug feces are sufficient to elicit off-host aggregation by bed bugs, *Cimex lectularius*: Two-compound mix elicits *C. lectularius* aggregation ». *Pest Management Science* 73 (1) : 198-205. <https://doi.org/10.1002/ps.4286>.
- Palfrey, Thomas, et Thomas Romer. 1983. « Warranties, Performance, and the Resolution of Buyer-Seller Disputes ». *The Bell Journal of Economics* 14 (1) : 97-117. <https://doi.org/10.2307/3003540>.
- Panagiotakopulu, Eva, et Paul C. Buckland. 1999. « *Cimex lectularius* L., the common bed bug from Pharaonic Egypt ». *Antiquity* 73 (282) : 908-11.
- Parola, Philippe, et Arezki Izri. 2020. « Bedbugs ». *New England Journal of Medicine* 382 (23) : 2230-37.
- Pereira, Roberto M., Philip G. Koehler, Margie Pfiester, et Wayne Walker. 2009. « Lethal effects of heat and use of localized heat treatment for control of bed bug infestations ». *Journal of Economic Entomology* 102 (3) : 1182-88.
- Pesendorfer, Wolfgang, et Asher Wolinsky. 2003. « Second Opinions and Price Competition: Inefficiency in the Market for Expert Advice ». *The Review of Economic Studies* 70 (2) : 417-37.
- Peterson, Jennifer K., Renzo Salazar, Ricardo Castillo-Neyra, Katty Borrini-Mayori, Carlos Condori, Casey Bartow-McKenney, Dylan Tracy, César Náquira, et Michael Z. Levy. 2018. « Trypanosoma cruzi infection does not decrease survival or reproduction of the common bed bug, *Cimex lectularius* ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 98 (3) : 724.
- Pfiester, Margie, Philip G. Koehler, et Roberto M. Pereira. 2008. « Ability of bed bug-detecting canines to locate live bed bugs and viable bed bug eggs ». *Journal of Economic Entomology* 101 (4) : 1389-96.
- Pfiester, Margie, Philip G. Koehler, et Roberto M. Pereira. 2009. « Effect of population structure and size on aggregation behavior of *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Medical Entomology* 46 (5) : 1015-20.
- Pietri, Jose E., et Dangsheng Liang. 2018. « Virulence of entomopathogenic bacteria in the bed bug, *Cimex lectularius* ». *Journal of invertebrate pathology* 151 : 1-6.
- Pietri, Jose E., et Rashaun Potts. 2021. « Effects of NF- κ B Signaling inhibitors on bed bug resistance to orally provisioned entomopathogenic bacteria ». *Insects* 12 (4) : 303.
- Polanco, Andrea M., Dini M. Miller, et Carlyle C. Brewster. 2011. « Survivorship during starvation for *Cimex lectularius* L ». *Insects* 2 (2) : 232-42.
- Potter, F., K. F. Haynes, K. Connelly, M. Deutsch, E. Hardebeck, D. Partin, et R. Harrison. 2010. « The sensitivity spectrum: human reactions to bed bug bites ». *Pest Control Technology* 38 (2) : 70-100.
- Price, Jason B., Adnan Divjan, William R. Montfort, Kirstie H. Stansfield, Greg A. Freyer, et Matthew S. Perzanowski. 2012. « IgE against bed bug (*Cimex lectularius*) allergens is common among adults bitten by bed bugs ». *Journal of allergy and clinical immunology* 129 (3) : 863-865. e2.
- Pritchard, M. Jane, et Stephen W. Hwang. 2009. « Severe anemia from bedbugs ». *Cmaj* 181 (5) : 287-88.
- Puckett, Robert T., Danny L. McDonald, et Roger E. Gold. 2013. « Comparison of multiple steam treatment durations for control of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) ». *Pest Management Science* 69 (9) : 1061-65.
- Punj, Girish N., et Richard Staelin. 1983. « A Model of Consumer Information Search Behavior for New Automobiles ». *Journal of Consumer Research* 9 (4) : 366-80. <https://doi.org/10.1086/208931>.
- Quinet, Emile. 2013. « L'évaluation socio-économique des investissements publics, rapport du Commissariat Général à la Stratégie et à la Prospective ». Paris : La Documentation Française.
- Racon-Bouzon, Cathy, François Lefort, Nicolas Caure Le Graet, Elsa Pariente, et Fanny Diadema. 2020. « La punaise de lit un fléau à l'ombre des politiques publiques - ça pique ! - Prévenir et agir ensemble pour ne plus subir ». Rapport remis au Premier ministre et à la ministre déléguée auprès de la ministre de la Transition Ecologique, chargée du Logement. Paris.

- Raimond, Véronique, Fabienne Midy, Clémence Thébaut, et Catherine Rumeau-Pichon. 2016. « L'évaluation économique des produits de santé innovants : quelle interprétation pour quel usage ? ». *Revue française des affaires sociales*, n° 3 (octobre) : 263-81. <https://doi.org/10.3917/rfas.163.0263>.
- Ralph, Nancy, Heidi E. Jones, et Lorna E. Thorpe. 2013. « Self-Reported Bed Bug Infestation Among New York City Residents ». *Journal of Environmental Health* 76 (1) : 38-45.
- Ramos, Rodrigo Soares, Richard Cooper, Tirthankar Dasgupta, Nicole E. Pashley, et Changlu Wang. 2022. « Comparative efficacy of superheated dry steam application and insecticide spray against common bed bugs under simulated field conditions ». *Journal of Economic Entomology*.
- Ranabhat, Sabita, et Changlu Wang. 2020. « Effect of moisture on efficacy of selected insecticide dusts against the common bed bug, *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Economic Entomology* 113 (4) : 1933-39.
- Reinhardt, K., et Michael T. Siva-Jothy. 2007. « Biology of the bed bugs (Cimicidae) ». *Annu. Rev. Entomol.* 52 : 351-74.
- Reinhardt, K., D. Kempke, R. A. Naylor, et M. T. Siva-Jothy. 2009. « Sensitivity to bites by the bedbug, *Cimex lectularius* ». *Medical and Veterinary Entomology* 23 (2) : 163-66.
- Reis, Matthew D., et Dini M. Miller. 2011. « Host searching and aggregation activity of recently fed and unfed bed bugs (*Cimex lectularius* L.) ». *Insects* 2 (2) : 186-94.
- Rieder, Evan, Gareen Hamalian, Katherine Maloy, Elizabeth Streicker, Lucas Sjulson, et Patrick Ying. 2012. « Psychiatric consequences of actual versus feared and perceived bed bug infestations: a case series examining a current epidemic ». *Psychosomatics* 53 (1) : 85-91.
- Rivnay, Ezekiel. 1932. « Studies in Tropisms of the Bed Bug *Cimex lectularius* L. 1 ». *Parasitology* 24 (1) : 121-36.
- Romero, A., Michael F. Potter, et Kenneth F. Haynes. 2009. « Evaluation of piperonyl butoxide as a deltamethrin synergist for pyrethroid-resistant bed bugs ». *Journal of Economic Entomology* 102 (6) : 2310-15.
- Romero, A., A. M. Sutherland, D. H. Gouge, H. Spafford, S. Nair, V. Lewis, D.-H. Choe, S. Li, et D. Young. 2017. « Pest management strategies for bed bugs (Hemiptera: Cimicidae) in multiunit housing: a literature review on field studies ». *Journal of Integrated Pest Management* 8 (1).
- Rukke, B. A., Morten Hage, et Anders Aak. 2017. « Mortality, fecundity and development among bed bugs (*Cimex lectularius*) exposed to prolonged, intermediate cold stress ». *Pest Management Science* 73 (5) : 838-43.
- Rukke, B. A., Ranjeni Sivasubramaniam, Tone Birkemoe, et Anders Aak. 2018. « Temperature stress deteriorates bed bug (*Cimex lectularius*) populations through decreased survival, fecundity and offspring success ». Sous la direction de Zach N. Adelman. *PLOS ONE* 13 (3) : e0193788. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193788>.
- Rukke, B. A., U. Salma, T. Birkemoe, et A. Aak. 2021. « Blood deprivation and heat stress increase mortality in bed bugs (*Cimex lectularius*) exposed to insect pathogenic fungi or desiccant dust ». *Medical and Veterinary Entomology* 35 (1) : 121-28.
- Rukke, B. A., Espen Roligheten, et Anders Aak. 2022. « Procurement competence and framework agreements for upgraded bed bug control [*Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae)] ». *Journal of Economic Entomology* 115 (1) : 240-49.
- Salazar, Renzo, Ricardo Castillo-Neyra, Aaron W. Tustin, Katty Borrini-Mayorí, César Náquira, et Michael Z. Levy. 2015. « Bed bugs (*Cimex lectularius*) as vectors of *Trypanosoma cruzi* ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 92 (2) : 331.
- Scapecchi, Pascale. 2008. « The health costs of inaction with respect to air pollution ». *OECD Environment Working Papers*, 2008.
- Scarpino, Samuel V., et Benjamin M. Althouse. 2019. « Uncovering the hidden cost of bed bugs ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116 (15) : 7160-62. <https://doi.org/10.1073/pnas.1902404116>.
- Schaafsma, Elizabeth J., Samuel D. Hapke, et Michael G. Banfield. 2012. « Bed bug (*Cimex lectularius* L.) population composition as determined by baited traps ». *Insects* 3 (2) : 442-52.

- Schneider, Tim, et Kilian Bizer. 2017. « Effects of Qualification in Expert Markets with Price Competition and Endogenous Verifiability ». SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3009184>.
- Seidel, Conrad, et Klaus Reinhardt. 2013. « Bugging forecast: unknown, disliked, occasionally intimate. Bed bugs in Germany meet unprepared people ». *PLOS one* 8 (1) : e51083.
- Shaked, Avner, et John Sutton. 1982. « Relaxing Price Competition Through Product Differentiation ». *The Review of Economic Studies* 49 (1) : 3-13. <https://doi.org/10.2307/2297136>.
- Shaked, Avner, et John Sutton. 1983. « Natural Oligopolies ». *Econometrica* 51 (5) : 1469-83. <https://doi.org/10.2307/1912285>.
- Shaked, Avner, et John Sutton. 1987. « Product Differentiation and Industrial Structure ». *The Journal of Industrial Economics* 36 (2) : 131-46. <https://doi.org/10.2307/2098408>.
- Shapiro, Carl. 1983. « Premiums for High Quality Products as Returns to Reputations ». *The Quarterly Journal of Economics* 98 (4) : 659-80.
- Sharififard, Mona, Ismaeil Alizadeh, Elham Jahanifard, Changlu Wang, et Mohammad Ebrahim Azemi. 2018. « Chemical composition and repellency of *Origanum vulgare* essential oil against *Cimex lectularius* under laboratory conditions ». *Journal of Arthropod-Borne Diseases* 12 (4) : 387.
- Sheele, Johnathan M., Cameron J. Crandall, Brandon F. Chang, Brianna L. Arko, Colin T. Dunn, et Alejandro Negrete. 2019. « Risk Factors for Bed Bugs Among Urban Emergency Department Patients ». *Journal of Community Health* 44 (6) : 1061-68. <https://doi.org/10.1007/s10900-019-00681-2>.
- Sheele, Johnathan M., Brian Ferrari, Jerome Goddard, Danie Schlatzer, Kathleen C. Lundberg, Katirina Guinto, Monica E. Embers, Andrew B. Young, Gale E. Ridge, et Giovanni Damiani. 2020. « Human immunoglobulin G responses to *Cimex lectularius* L. saliva ». *Parasite immunology* 42 (12) : e12764.
- Sheele, Johnathan M., Bobbi S. Pritt, Claudia R. Libertin, et Ewa M. Wysokinska. 2021. « Bed bugs are associated with anemia ». *The American Journal of Emergency Medicine* 46 : 482-88.
- Shi, Xianhui, Changlu Wang, James E. Simon, William Reichert, et Qingli Wu. 2021. « Repellency of novel catnip oils against the bed bug (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Medical Entomology* 58 (2) : 528-34.
- Shikano, Ikkei, Lauren Gomez, Giovani S. Bellicanta, et Nina E. Jenkins. 2019. « Persistence and lethality of a fungal biopesticide (Aprehend) applied to insecticide-impregnated and encasement-type box spring covers for bed bug management ». *Journal of Economic Entomology* 112 (5) : 2489-92.
- Shikano, Ikkei. 2020. « Efficacy of a fungal biopesticide for bed bug management is influenced by the toxicity and associated behavioral avoidance of harborage on insecticide-impregnated box spring covers ». *Journal of Economic Entomology* 113 (6) : 2850-57.
- Siljander, E. 2006. « Foraging and communication ecology of bed bugs, *Cimex lectularius* L.(Hemiptera: Cimicidae) ». *American Entomologist* 52 (2) : 116-17.
- Siljander, E., Regine Gries, Grigori Khaskin, et Gerhard Gries. 2008. « Identification of the airborne aggregation pheromone of the common bed bug, *Cimex lectularius* ». *Journal of chemical ecology* 34 : 708-18.
- Singh, Narinderpal, Changlu Wang, Richard Cooper, et Chaofeng Liu. 2012. « Interactions among carbon dioxide, heat, and chemical lures in attracting the bed bug, *Cimex lectularius* L.(Hemiptera: Cimicidae) ». *Psyche* 2012.
- Singh, Narinderpal, Changlu Wang, et Richard Cooper. 2015. « Role of vision and mechanoreception in bed bug, *Cimex lectularius* L. behavior ». *PLOS one* 10 (3) : e0118855.
- Singh, Narinderpal, Changlu Wang, Desen Wang, Richard Cooper, et Chen Zha. 2016. « Comparative efficacy of selected dust insecticides for controlling *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Economic Entomology* 109 (4) : 1819-26.
- Singh, Narinderpal, Changlu Wang, Chen Zha, Richard Cooper, et Mark Robson. 2017. « Testing a threshold-based bed bug management approach in apartment buildings ». *Insects* 8 (3) : 76.

- Stedfast, Molly L., et Dini M. Miller. 2014. « Development and evaluation of a proactive bed bug (Hemiptera: Cimicidae) suppression program for low-income multi-unit housing facilities ». *Journal of Integrated Pest Management* 5 (3) : E1-7.
- Steinbrecht, Rudolf Alexander, et Barbara Müller. 1976. « Fine structure of the antennal receptors of the bed bug, *Cimex lectularius L.* ». *Tissue and Cell* 8 (4) : 615-36.
- Sultan-Taïeb, Hélène, Philippe Tessier, et Sophie Béjean. 2009. « Capital humain et coûts de friction: Quels critères de choix pour l'évaluation des pertes de production ? » *Revue économique* Vol. 60 (2) : 293-306. <https://doi.org/10.3917/reco.602.0293>.
- Sülzle, Kai, et Achim Wambach. 2005. « Insurance in a Market for Credence Goods ». *Journal of Risk and Insurance* 72 (1) : 159-76. <https://doi.org/10.1111/j.0022-4367.2005.00119.x>
- Susser, Stephanie Rebecca, Stéphane Perron, Michel Fournier, Louis Jacques, Geoffroy Denis, François Tessier, et Pasquale Roberge. 2012. « Mental health effects from urban bed bug infestation (*Cimex lectularius L.*): a cross-sectional study ». *BMJ open* 2 (5) : e000838.
- Sutherland, Chris, Andrew J. Greenlee, et Daniel Schneider. 2020. « Socioeconomic drivers of urban pest prevalence ». Sous la direction de Laura Graham. *People and Nature* 2 (3) : 776-83. <https://doi.org/10.1002/pan3.10096>.
- Szyndler, Megan W., Kenneth F. Haynes, Michael F. Potter, Robert M. Corn, et Catherine Loudon. 2013. « Entrapment of bed bugs by leaf trichomes inspires microfabrication of biomimetic surfaces ». *Journal of the Royal Society Interface* 10 (83) : 20130174.
- Tarricone, Rosanna. 2005. « Cost of illness analysis : What room in health economics? »
- Tarricone, Rosanna. 2006. « Cost-of-illness analysis ». *Health Policy* 77 (1) : 51-63. <https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2005.07.016>.
- The EuroQol Group. 1990. « EuroQol, a new facility for the measurement of health-related quality of life ». *Health Policy* 16 (3) : 199-208.
- Tirole, Jean. 1988. *The theory of industrial organization*. Cambridge : MIT Press.
- Tirole, Jean. 1996. « A Theory of Collective Reputations (with applications to the persistence of corruption and to firm quality) ». *The Review of Economic Studies* 63 (1) : 1-22. <https://doi.org/10.2307/2298112>.
- UFC-QUE CHOISIR. 2021. « Punaises de lit (infographie). Vos solutions pour en venir à bout ». Consulté le 31 mars 2021. <https://www.quechoisir.org/actualite-punaises-de-lit-infographie-vos-solutions-pour-en-venir-a-bout-n89858/>.
- Ulrich, Kevin R., Mark F. Feldlaufer, Matthew Kramer, et Raymond J. St. Leger. 2014. « Exposure of bed bugs to Metarhizium anisopliae at different humidities ». *Journal of Economic Entomology* 107 (6) : 2190-95.
- Usinger, Robert Leslie. 1966. « Monograph of Cimicidae (Hemiptera, Heteroptera) ».
- Vaidyanathan, Rajeev, et Mark F. Feldlaufer. 2013. « Bed bug detection: current technologies and future directions ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 88 (4) : 619.
- Wang, Changlu, Timothy Gibb, et Gary W. Bennett. 2009. « Evaluation of two least toxic integrated pest management programs for managing bed bugs (Heteroptera: Cimicidae) with discussion of a bed bug intercepting device ». *Journal of Medical Entomology* 46 (3) : 566-71.
- Wang, Changlu, Timothy Gibb, Gary W. Bennett, et Susan McKnight. 2009. « Bed bug (Heteroptera: Cimicidae) attraction to pitfall traps baited with carbon dioxide, heat, and chemical lure ». *Journal of Economic Entomology* 102 (4) : 1580-85.
- Wang, Changlu, Wan-Tien Tsai, Richard Cooper, et Jeffrey White. 2011. « Effectiveness of bed bug monitors for detecting and trapping bed bugs in apartments ». *Journal of Economic Entomology* 104 (1) : 274-78.
- Wang, Changlu, Lihua Lü, et Ming Xu. 2012. « Carbon dioxide fumigation for controlling bed bugs ». *Journal of Medical Entomology* 49 (5) : 1076-83.
- Wang, Changlu, Kurt Saltzmann, Gary Bennett, et Timothy Gibb. 2012. « Comparison of three bed bug management strategies in a low-income apartment building ». *Insects* 3 (2) : 402-9.
- Wang, Changlu, Lihua Lü, Aijun Zhang, et Chaofeng Liu. 2013. « Repellency of selected chemicals against the bed bug (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Economic Entomology* 106 (6) : 2522-29.

- Wang, Changlu, Narinderpal Singh, Chen Zha, et Richard Cooper. 2016. « Bed Bugs: Prevalence in Low-Income Communities, Resident's Reactions, and Implementation of a Low-Cost Inspection Protocol ». *Journal of Medical Entomology* 53 (3) : 639-46. <https://doi.org/10.1093/jme/tjw018>.
- Wang, Desen, Changlu Wang, Guohong Wang, Chen Zha, Amanda L. Eiden, et Richard Cooper. 2018. « Efficacy of three different steamers for control of bed bugs (*Cimex lectularius* L.) ». *Pest Management Science* 74 (9) : 2030-37.
- Wang, Desen, Changlu Wang, et Chen Zha. 2018. « Effect of steam treatment on feeding, mating, and fecundity of the common bed bug (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Medical Entomology* 55 (6) : 1536-41.
- Wang, Changlu, Amanda Eiden, Richard Cooper, Chen Zha, et Desen Wang. 2019. « Effectiveness of building-wide integrated pest management programs for German cockroach and bed bug in a high-rise apartment building ». *Journal of Integrated Pest Management* 10 (1) : 33.
- Ware, J. E., et C. D. Sherbourne. 1992. « The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection ». *Medical Care* 30 (6) : 473-83.
- Weeks, Emma NI, Mike A. Birkett, Mary M. Cameron, John A. Pickett, et James G. Logan. 2011. « Semiochemicals of the common bed bug, *Cimex lectularius* L. (Hemiptera: Cimicidae), and their potential for use in monitoring and control ». *Pest Management Science* 67 (1) : 10-20.
- Wells, John D., Joseph S. Valacich, et Traci J. Hess. 2011. « What Signal Are You Sending? How Website Quality Influences Perceptions of Product Quality and Purchase Intentions ». *MIS Quarterly* 35 (2) : 373-96. <https://doi.org/10.2307/23044048>.
- Whitman Cobb, Wendy N. 2015. « Trending now: Using big data to examine public opinion of space policy ». *Space Policy* 32 (mai) : 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.spacepol.2015.02.008>.
- Wolinsky, Asher. 1983. « Prices as signals of product quality ». *Review of Economic Studies*, 647-58.
- Wolinsky, Asher. 1993. « Competition in a Market for Informed Experts' Services ». *The RAND Journal of Economics* 24 (3) : 380-98. <https://doi.org/10.2307/2555964>.
- World Health Organization. 2004. « Global Burden of Disease 2004 Update : Disability weight for diseases and conditions ».
- World Health Organization. 2011. « Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe, World Health Organization, Regional Office for Europe, 128 p. ».
- World Health Organization. 2020. « WHO Methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2019, Department of Data and Analytics Division of Data, Analytics and Delivery for Impact, Geneva ». Consulté le 2020. https://cdn.who.int/media/docs/default-source/gho-documents/global-health-estimates/ghe2019_daly-methods.pdf.
- Xerfi specific. 2021. « Rapport de branche de la désinfection, désinsectisation et dératisation - Données 2020 ». CS3D.
- Xie, Sherrie, Alison L. Hill, Chris R. Rehmann, et Michael Z. Levy. 2019. « Dynamics of bed bug infestations and control under disclosure policies ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116 (13) : 6473-81. <https://doi.org/10.1073/pnas.1814647116>.
- Youssef, Adel Ben, et Chema Abderrazak. 2009. « Multiplicity of Eco-Labels, Competition, and the Environment ». *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* 7 (2). <https://doi.org/10.2202/1542-0485.1271>.
- Yturrealde, K. M., et R. W. Hofstetter. 2012. « Efficacy of commercially available ultrasonic pest repellent devices to affect behavior of bed bugs (Hemiptera: Cimicidae) ». *Journal of Economic Entomology* 105 (6) : 2107-14.
- Zapechelnyuk, Andriy. 2020. « Optimal Quality Certification ». *American Economic Association* 2 (2) : 161-76.
- Zeni, Valeria, Georgia V. Baliota, Giovanni Benelli, Angelo Canale, et Christos G. Athanassiou. 2021. « Diatomaceous earth for arthropod pest control: Back to the future ». *Molecules* 26 (24) : 7487.
- Zhu, Junwei J., Steven C. Cermak, James A. Kenar, Gary Brewer, Kenneth F. Haynes, Dave Boxler, Paul D. Baker, Desen Wang, Changlu Wang, et Andrew Y. Li. 2018. « Better than DEET repellent compounds derived from coconut oil ». *Scientific Reports* 8 (1) : 14053.

Zorrilla-Vaca, Andrés, Melissa M. Silva-Medina, et Kevin Escandón-Vargas. 2015. « Bedbugs, *Cimex* spp.: their current world resurgence and healthcare impact ». *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 5 (5) : 342-52. [https://doi.org/10.1016/S2222-1808\(14\)60795-7](https://doi.org/10.1016/S2222-1808(14)60795-7).

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine

2021-SA-0147



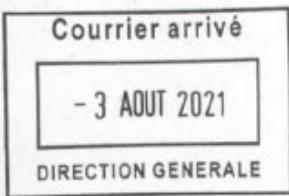
GOUVERNEMENT

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Ministère de la Transition Ecologique
Direction générale de la prévention des risques
Service des risques sanitaires liés à l'environnement,
des déchets et des pollutions diffuses
Bureau des produits chimiques

Ministère des Solidarités et de la Santé
Direction générale de la santé
Sous-direction de la prévention des risques
liés à l'environnement et à l'alimentation
Bureau environnement intérieur, milieux du travail
et accidents de la vie courante

Nos réf. : D21-018294



Paris, le

29 JUIL. 2021

Le directeur général de la santé
Le directeur général de la prévention des risques
à

Monsieur le Directeur général de l'Agence nationale
de sécurité sanitaire de l'alimentation, de
l'environnement et du travail (ANSES)

Objet : Saisine relative à la prévention et la lutte contre les punaises de lit

Malgré la diffusion du rapport du Centre national d'expertise sur les vecteurs (CNEV) de septembre 2015 « Punaises de lit en France, état des lieux et recommandations », la population et les représentants des collectivités locales restent désarmés au regard de l'infestation par les punaises de lit. L'étude PUlli réalisée par le Réseau Sentinelles a permis d'appréhender l'incidence du recours aux soins en médecine générale en raison de l'infestation par des punaises de lits. Si cette incidence est modérée au regard du nombre de consultations effectuées par ces praticiens, elle suggère néanmoins un impact non négligeable sur les personnes dont le domicile est infesté.

La prévention de l'infestation et le traitement des infestations par les nuisibles, y compris les punaises de lit, font l'objet d'actions, notamment dans le cadre du plan national santé environnement 4. Dans ce contexte, il nous paraît essentiel de disposer d'une nouvelle expertise scientifique portant en particulier sur :

- les caractéristiques de l'espèce, notamment au regard de la résistance aux insecticides, et de son pouvoir éventuel de transmission d'agents infectieux ;
- la compréhension de la dynamique de la présence et de la prolifération des punaises de lit (déterminants bio-écologiques, physiques, techniques, socio-économiques, démographiques, culturels, géographiques, etc.) ;
- les méthodes de lutte contre les punaises et les acteurs qui les développent, afin de déterminer les méthodes les plus efficaces dans le souci de la préservation de la santé des personnes exposées (pendant et après l'utilisation) et celui des effets sur l'environnement (certaines techniques ont fait l'objet de développements depuis 2015, par exemple le traitement des habitations par la chaleur). À cette fin vous analyserez les méthodes de lutte alternatives aux

Tour Séquoia – 92055 Paris La Défense cedex – Tél. 01 40 81 21 22 – www.ecologie.gouv.fr
14 avenue Duquesne – 75350 Paris 07 SP - Tél. 01 40 56 60 00 - www.social-sante.gouv.fr

Le traitement de vos données est nécessaire à la gestion de votre demande et entre dans le cadre des missions confiées aux ministères sociaux.
Conformément au règlement général sur la protection des données (RGPD), vous pouvez exercer vos droits à l'adresse dga-mpd@sante.gouv.fr ou par voie postale.
Pour en savoir plus : <https://solidarites-sante.gouv.fr/infodoc/article/donnees-personnelles-et-cookies>

méthodes fondées sur l'application de produits biocides et vous prendrez en compte l'applicabilité de ces méthodes aux différents types de lieux infestés (habitation individuelle ou collective, lieux d'hébergement, établissements recevant du public, transports, etc.) ;

- l'identification des bénéfices et des risques éventuels associés aux différentes méthodes de lutte disponibles avec :

- d'une part, une analyse des risques pour la santé humaine (applicateurs et résidents) et pour l'environnement, notamment pour les méthodes fondées sur l'application de produits biocides et les impacts associés ;
- d'autre part, une analyse des bénéfices en termes de santé publique (incluant les dommages psychologiques et la perte de qualité de vie évités).

- les recommandations en matière de prévention contre les infestations.

Afin de pouvoir encadrer les pratiques dans ce domaine et diffuser une information toujours valide dès début 2022, nous souhaitons pouvoir disposer à ce moment, en tant que de besoin, d'une actualisation des recommandations du guide de 2015. Dans la négative, nous vous remercions de bien vouloir nous confirmer qu'il n'y a pas d'obstacle à se référer au guide de 2015, dans l'attente d'un avis complet que nous souhaitons recevoir en décembre 2022.

Nos services se tiennent à votre disposition pour toute question complémentaire.

Le directeur général
de la prévention des risques

Cédric BOURILLET
L'adjoint au directeur général
de la prévention des risques,

Patrick SOULÉ

P/o Le directeur général
de la santé

Maurice-Pierre PLANEL

Jérôme SALOMON
Le Directeur Général Adjoint de la santé

Maurice-Pierre PLANEL

Annexe 2 : Questionnaire de la première phase de l'enquête en population générale



Questionnaire – PHASE 1 : Enquête de prévalence

Etude réalisée pour :

*L'Agence Nationale Sécurité Sanitaire Alimentaire
 Nationale (ANSES)*

07/07/2022

Rappel du dispositif :

Volet prévalence : interrogation de 2000 personnes âgées de 18 ans et plus, représentatives de la population française :

- 1850 en métropole – en ligne
- 150 dans les DROM – par téléphone

Questionnaire d'une durée de 4-5 minutes

Contacts Ipsos Public Affairs France :

Etienne MERCIER : Directeur Opinion & Santé
Adeline MERCERON : Responsable activité Santé
Sophie MORIN : Directrice d'études
Amélie MARMUSE : Chargée d'études senior

Etienne.Mercier@ipsos.com
Adeline.Merceron@ipsos.com
Sophie.Morin@ipsos.com
Amelie.Marmuse@ipsos.com

**PARTIE 0 : renseignements signalétiques _ questions posées à tous****RS1. Vous êtes... ? [Quotas]**

- Un homme
- Une femme
- Autre
- Ne souhaite pas répondre

RS2. Quelle est votre date de naissance ? [Quotas] [À partir de 18 ans]**RS3. [EMP01] Quelle est votre situation actuelle ?**

Consigne : Si vous êtes étudiant mais que vous exercez une activité rémunérée en plus de vos études, merci d'indiquer que vous êtes étudiant

- Salarié(e) à plein temps
- Salarié(e) à temps partiel
- Travaille à mon compte
- Ne travaille pas actuellement, mais en recherche d'emploi
- Ne travaille pas actuellement et ne recherche pas d'emploi / en incapacité de travail
- Homme/femme au foyer
- Retraité(e)
- Etudiant(e)/élève

RS4. Quelle est votre profession ? [Quotas]

PUIS Recode en 8 (classification INSEE)

- Agriculteurs exploitants
- Professions Indépendantes
- Cadres Supérieurs
- Professions intermédiaires
- Employés
- Ouvriers
- Retraités
- Inactifs

RS5. Métropole / Outre-Mer [Quotas]**RS6. Code Postal + commune [Quotas]**

Recode Région + Catégorie d'agglomération

- Île-de-France
- Centre - Val de Loire
- Bourgogne -Franche-Comté
- Normandie
- Hauts-de-France
- Grand Est
- Pays de la Loire
- Bretagne
- Nouvelle-Aquitaine



- Occitanie
- Auvergne-Rhône-Alpes
- Provence-Alpes-Côte d'Azur
- Corse

	%	Répartition au réel	Répartition raisonnée
DROM	2,7%	53	n=150
01 - Guadeloupe	0,6%	12	35
02 - Martinique	0,6%	11	35
03 - Guyane	0,3%	6	20
04 - La Réunion	1,2%	24	60

PARTIE 1 : Caractéristiques du foyer et du logement actuel _ questions posées à tous

A tous

RS7. Combien de personnes habitent à votre adresse actuelle ? (Indiquez tous les adultes, y compris vous-même, et tous les enfants vivant à cette adresse depuis au moins 2 mois)
Une seule réponse possible

- 1 personne
- 2 personnes
- 3 personnes
- 4 personnes
- 5 personnes
- 6 personnes et plus

A tous

RS8. Actuellement, dans votre logement combien y a-t-il ... ? (0,5 UQ)
Une seule réponse possible par item

1. D'enfants de moins de 18 ans
2. De personnes de plus de 65 ans

- Aucun
- Un
- Deux
- Trois
- Quatre et plus



A tous

RS9. Actuellement, dans quel type de logement vivez-vous ? (0,5 UQ)

Une seule réponse possible

- Une maison
- Un appartement
- Une chambre dans un logement partagé (colocation, chambre d'hôtel, etc.)
- Autre (préciser)

A tous

RS10. Actuellement, êtes-vous locataire ou propriétaire de votre logement ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

- Locataire dans un parc social
- Locataire hors parc social
- Locataire en logement étudiant
- Propriétaire
- Logé à titre gratuit
- Bénéficiaire d'un hébergement social (foyer de jeunes travailleurs, centre d'hébergement et de réinsertion sociale, centre d'hébergement d'urgence, etc.)

A tous

RS11. Et quelle est la surface du logement que vous occupez actuellement ? (1 UQ)

Merci d'indiquer votre réponse en nombre

- _____ / m²
- Vous ne savez pas

A ceux qui répondent « ne savent pas » en RS11

RS11 bis. Et de manière plus approximative, diriez que la superficie de votre logement est... ?

(0,5 UQ)

Merci d'indiquer votre réponse en nombre

- Moins de 10 m²
- Entre 10 m² et 20 m²
- Entre 21 m² et 40 m²
- Entre 41 m² et 80 m²
- Entre 81 m² et 100 m²
- Plus de 100 m²
- Vous ne savez pas



PARTIE 2 : PREVALENCE Expérience des punaises de lit _ questions posées à tous

A tous

Q1. Au cours des 5 dernières années (c'est-à-dire depuis 2017), avez-vous été confronté à une infestation par des punaises de lit à votre domicile? (1 UQ)

Une seule réponse possible

- Oui, plusieurs fois
- Oui, une fois
- Non, jamais

A tous

Q2 Avez-vous déjà été infesté par des punaises de lit hors de votre domicile (chambre d'hôtel, location de vacances...) sans les avoir ramenées chez vous ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

- Oui, plusieurs fois
- Oui, une fois
- Non, jamais
- Vous ne savez pas

A ceux qui ont déjà été infestés (Q1 = 1 ou 2)

Q3. En quelle(s) année(s) avez-vous été confronté à une infestation par des punaises de lit à votre domicile, depuis 2017 ? (1 UQ)

Plusieurs réponses possibles pour ceux ayant dit plusieurs fois à Q1

Une seule réponse possible pour ceux ayant dit une fois à Q1

- 2017
- 2018
- 2019
- 2020
- 2021
- 2022

A tous

Q4. Par le passé (avant 2017), avez-vous été confronté à une infestation par des punaises de lit à votre domicile ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

- Oui, plusieurs fois
- Oui, une fois
- Non, jamais



A ceux qui ont eu plusieurs infestations en Q1

Q5. Vous avez répondu avoir été concerné par plusieurs épisodes d'infestation à votre domicile.

Combien de temps s'est écoulé entre eux ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

- Moins de 6 mois
- Entre 6 mois et 1 an
- Plus d'un an
- Vous ne vous souvenez plus

Précision diffusée à ceux qui ont eu plusieurs infestations

Vous avez déclaré avoir été concerné plusieurs fois par des infestations de punaises de lit, pour les questions suivantes, merci de répondre en fonction de la plus récente.

A ceux qui ont été infestés au cours des 5 dernières années (en Q1)

Q6. Lors de cette infestation (la plus récente), la présence de punaises de lit a-t-elle été identifiée avec certitude ?

Une seule réponse possible (0,5 UQ)

- Oui, elle a été identifiée par un professionnel
- Oui, vous avez vu les punaises et les avez identifiées
- Vous avez un doute

PARTIE 3 : Les caractéristiques du logement ET du foyer pendant l'infestation

A ceux qui ont été infestés au cours des 5 dernières années (en Q1)

Q7. Avez-vous changé de statut professionnel (d'étudiant vous êtes entré dans la vie d'active, vous étiez au chômage et vous avez trouvé un emploi ou inversement) ou de métier depuis cette infestation ? (0,5 UQ)

Plusieurs réponses possibles sur le Oui

- Oui, vous avez changé de statut
- Oui, vous avez de poste
- Non, votre situation est inchangée EXCLUSIF

A ceux qui ont changé en Q7

Q7bis. Au moment de l'infestation, quelle était votre situation ? Vous étiez ...

Une seule réponse possible (0,5 UQ)

- Salarié(e) à plein temps
- Salarié(e) à temps partiel
- Travaille à mon compte
- Ne travaille pas actuellement, mais en recherche d'emploi
- Ne travaille pas actuellement et ne recherche pas d'emploi / en incapacité de travail
- Homme/femme au foyer
- Retraité(e)
- Etudiant(e)/élève



A ceux qui ont changé en Q7

Q7ter. Au moment de l'infestation, vous étiez ? (0,5 UQ)

Une seule réponse possible

- Agriculteurs exploitants
- Professions Indépendantes
- Cadres Supérieurs
- Professions intermédiaires
- Employés
- Ouvriers
- Retraités
- Inactifs

A ceux qui ont été infestés au cours des 5 dernières années (en Q1)

Q8. Depuis la dernière infestation, la composition de votre foyer a-t-elle évolué ? (0,5 UQ)

Une seule réponse possible

- Oui
- Non

A ceux dont la composition du foyer a évolué (Oui en Q8)

Q8bis. Au moment de l'infestation, de combien de personnes était constitué votre foyer (y compris vous-même) ? (0,5 UQ)

Une seule réponse possible

- 1 personne
- 2 personnes
- 3 personnes
- 4 personnes
- 5 personnes
- 6 personnes et plus

A ceux dont la composition du foyer a évolué (Oui en Q8)

Q9. Au moment de l'infestation, combien y avait-il dans votre foyer... ? (1 UQ)

Une seule réponse possible par item

1. D'enfants de moins de 18 ans
 2. De personnes de plus de 65 ans
- Aucun
 - Un
 - Deux
 - Trois
 - Quatre et plus



A ceux qui ont été infestés au cours des 5 dernières années (en Q1)

Q11. Actuellement, vivez-vous toujours dans le même logement que celui dans lequel vous avez eu cette infestation de punaises de lit ? (0,5 UQ)

Une seule réponse possible

1. Oui,
2. Non, vous avez changé de logement mais vous êtes resté dans la même commune
3. Non, vous avez changé de logement et vous avez changé de ville

Si oui : reprise des caractéristiques actuelles du logement (RS7 à 11bis + région)

Si non : repérer les questions équivalentes aux RS7 à 11bis + région

A ceux qui ont changé de ville (Q11 = 3)

Q12. Où habitez-vous au moment de l'infestation ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

- / _____ / code postal
- / _____ / commune
- Vous ne souhaitez pas répondre

A ceux qui ont changé de logement (Q11 = 2,3)

Q13. Lors de l'infestation, dans quel type de logement viviez-vous ? (0,5 UQ)

Une seule réponse possible

- Une maison
- Un appartement
- Une chambre dans un logement partagé (colocation, chambre d'hôtel, etc.)
- Autre (préciser)

A ceux qui ont changé de logement (Q11 = 2,3)

Q14. Lors de l'infestation, étiez-vous locataire ou propriétaire de votre logement ? (0,5 UQ)

Une seule réponse possible

- Locataire dans un parc social
- Locataire hors parc social
- Locataire en logement étudiant
- Propriétaire
- Logé à titre gratuit
- Bénéficiaire d'un hébergement social (foyer de jeunes travailleurs, centre d'hébergement et de réinsertion sociale, centre d'hébergement d'urgence, etc.)

A ceux qui ont changé de logement (Q11 = 2,3)

Q15. Et quelle était la surface du logement que vous occupiez au moment de cette infestation ? (0,5 UQ)

Merci d'indiquer votre réponse en nombre

- \ _____ / m²
- Vous ne savez pas



A ceux qui répondent « ne savent pas » en Q15

Q15 bis. Et de manière plus approximative, au moment de l'infestation, quelle était la superficie de votre logement? (0,5 UQ)

Merci d'indiquer votre réponse en nombre

- Moins de 10 m²
- Entre 10 m² et 20 m²
- Entre 21 m² et 40 m²
- Entre 41 m² et 80 m²
- Entre 81 m² et 100 m²
- Plus de 100 m²
- Vous ne savez pas

PARTIE 4 : Les caractéristiques de l'infestation

A ceux qui ont été infestés au cours des 5 dernières années (en Q1)

Q17. Quand vous l'avez découverte, quelle était l'étendue de l'infestation ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

- Elle était strictement limitée au lieu de repos c'est-à-dire au lit ou au canapé/fauteuil
- Elle était limitée au lieu de repos ET commençait à se répandre au sommier, table de chevet, table basse, tapis ...)
- Elle concernait l'ensemble de l'habitation
- Elle s'étendait au-delà de l'habitation (voisins, lieu de travail, amis, famille élargie...)

A ceux qui ont été infestés au cours des 5 dernières années (en Q1)

Q19. D'après ce que vous en savez, d'où venaient ces punaises de lit ? (1,5 UQ)

Plusieurs réponses possibles

1. D'un séjour dans un hôtel
2. D'un séjour dans un autre type de location de vacances (airbnb, camping, etc.)
3. D'une hospitalisation
4. D'une visite ponctuelle ou séjour passé chez un tiers (connaissance, membre de votre famille, etc.)
5. Lors de votre emménagement (le logement était déjà infesté à l'arrivée)
6. Par un voisin touché
7. En achetant du mobilier d'occasion ou de la récupération (seconde main) que vous avez ramené chez vous
8. Vous ne savez pas
9. Autre (préciser)



A tous

Q22. Avez-vous déjà fait les choses suivantes pour être certain de ne pas ramener de punaises de lit chez vous après avoir fréquenté un lieu infesté (refuge, chambre d'hôtel, etc.) ? (1,5 UQ)

Plusieurs réponses possibles

1. Nettoyé les affaires supposées infestées que vous aviez (sacs, valises, linge – lavage en machine ou à sec – etc.)
2. Congelé les affaires supposées infestées que vous aviez (linge ou objets)
3. Appliqué un insecticide sur les affaires supposées infestées que vous aviez (linge ou objets)
4. Jeté vos affaires supposées infestées
5. Autre :
6. Je n'ai rien fait
7. Vous n'avez jamais été confronté à ce genre de situation [réponse exclusive]

PARTIE 5 : Questions de signalétiques complémentaires

A tous

RS12. Pour finir, quel est votre niveau de diplôme le plus élevé ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

- École Élémentaire
- Collège (BREVET)
- CAP, BEP
- Baccalauréat
- Bac + 2 (BTS, DEUG, DUT)
- Bac +3/+4 (Licence, Maîtrise, Master 1)
- Bac +5 et plus (Grandes Écoles, DESS, DEA, Doctorat, Master 2)

A tous

RS13. Quel est le revenu annuel net de votre foyer après déduction des impôts sur le revenu?

[Veuillez considérer toutes vos sources de revenus: salaires, bourses, prestations retraite et sécurité sociale, dividendes, revenus immobiliers, pensions alimentaires etc.]

(1 UQ)

Une seule réponse possible

- Entre 0 € et 6000 €
- De 6001 € à 9000 €
- De 9001 € à 12000 €
- De 12001 € à 15000 €
- De 15001 € à 18000 €
- De 18001 € à 21000 €
- De 21001 € à 24000 €
- De 24001 € à 30000 €
- De 30001 € à 36000 €
- De 36001 € à 48000 €
- De 48001 € à 60000 €
- De 60001 € à 120000 €
- 120001 € et plus
- Je préfère ne pas répondre



A tous

RS14. Bénéficiez-vous (vous ou l'un des membres de votre foyer) d'un service à votre domicile (portage de repas, ménage, cours particulier, infirmière, etc.) ? (0,5 UQ)

- Oui
- Non
- Vous ne souhaitez pas répondre

Annexe 3 : Questionnaire de la deuxième phase de l'enquête en population générale



Questionnaire - CONCERNES

Etude réalisée pour :

*L'Agence Nationale Sécurité Sanitaire Alimentaire
 Nationale (ANSES)*

11/07/2022

Rappel du dispositif :

- 1) **Volet prévalence** : interrogation de 2000 personnes âgées de 18 ans et plus, représentatives de la population française (1850 en métropole – en ligne, 150 dans les DROM – par téléphone)
Questionnaire d'une durée de 4-5 minutes, essentiellement composé de questions de profils.
- 2) **Volet concernés** : 500 répondants concernés par des punaises de lit (actuellement ou au cours des 5 dernières années).
Questionnaire d'une dizaine de minutes.

Contacts Ipsos :

Etienne MERCIER : Directeur Opinion & Santé
Adeline MERCERON : Responsable activité Santé
Sophie MORIN : Directrice d'études
Amélie MARMUSE : Chargée d'études senior

Etienne.Mercier@ipsos.com
Adeline.Merceron@ipsos.com
Sophie.Morin@ipsos.com
Amelie.Marmuse@ipsos.com

PARTIE 0 : Questions de screening

A tous



PARTIE 0 : Questions de screening

A tous

Q1. Au cours des 5 dernières années (c'est-à-dire depuis 2017), avez-vous été confronté à une infestation par des punaises de lit à votre domicile ? (0,5 UQ) (Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible

1. Oui, plusieurs fois
2. Oui, une fois
3. Non, jamais => SCREEN OUT

Remarque : Seules les personnes éligibles (Q1 = 1,2) seront invitées à continuer le questionnaire. Les autres en seront exclues

PARTIE 1 : renseignements signalétiques

RS1. Vous êtes... ?

- Un homme
- Une femme
- Autre
- Ne souhaite pas répondre

RS2. Quelle est votre date de naissance ? [À partir de 18 ans]

RS3. [EMP01] Quelle est votre situation actuelle ?

Consigne : Si vous êtes étudiant mais que vous exercez une activité rémunérée en plus de vos études, merci d'indiquer que vous êtes étudiant

- Salarié(e) à plein temps
- Salarié(e) à temps partiel
- Travaille à mon compte
- Ne travaille pas actuellement, mais en recherche d'emploi
- Ne travaille pas actuellement et ne recherche pas d'emploi / en incapacité de travail
- Homme/femme au foyer
- Retraité(e)
- Etudiant(e)/élève

RS4. Quelle est votre profession ?

PUIS Recode en 8 (classification INSEE)

- Agriculteurs exploitants
- Professions Indépendantes
- Cadres Supérieurs
- Professions intermédiaires
- Employés
- Ouvriers
- Retraités
- Inactifs



PARTIE 2 : Expérience des punaises de lit (sont considérées comme « A tous » les personnes ayant été infestées au cours de 5 dernières années)

A tous

Q2. En quelle(s) année(s) avez-vous été confronté à une infestation par des punaises de lit à votre domicile ?

(1 UQ) (Question PREVALENCE)

Plusieurs réponses possibles pour ceux ayant dit plusieurs fois à Q1

Une seule réponse possible pour ceux ayant dit une fois à Q1

- 2017
- 2018
- 2019
- 2020
- 2021
- 2022

A ceux qui ont eu plusieurs infestations en Q1

Q3. Vous avez répondu avoir été concerné par plusieurs épisodes d'infestation. Combien de temps s'est écoulé entre eux ? **(1 UQ) (Question PREVALENCE)**

Une seule réponse possible

1. Moins de 6 mois
2. Entre 6 mois et 1 an
3. Plus d'un an
4. Vous ne vous souvenez plus

Précision diffusée à ceux qui ont eu plusieurs infestations

Vous avez déclaré avoir été concerné plusieurs fois par des infestations de punaises de lit, pour les questions suivantes, merci de répondre en fonction de la plus récente.

A tous

Q4. Lors de l'infestation (la plus récente) la présence de punaises de lit a-t-elle été identifiée avec certitude ? **(0,5 UQ)**

(Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible

- Oui, elle a été identifiée par un professionnel
- Oui, vous avez vu les punaises et les avez identifiées
- Vous avez un doute



PARTIE 3 : Les caractéristiques du logement ET du foyer pendant l'infestation

A tous

Q5. Au moment de l'infestation, quelle était votre situation ? Vous étiez ...

(Question PREVALENCE) (0,5 UQ)

Une seule réponse possible

- Salarié(e) à plein temps
- Salarié(e) à temps partiel
- Travaille à mon compte
- Ne travaille pas actuellement, mais en recherche d'emploi
- Ne travaille pas actuellement et ne recherche pas d'emploi / en incapacité de travail
- Homme/femme au foyer
- Retraité(e)
- Etudiant(e)/élève

A tous

Q6. Au moment de l'infestation, vous étiez ... ?

(Question PREVALENCE) (0,5 UQ)

Une seule réponse possible

- Agriculteurs exploitants
- Professions Indépendantes
- Cadres Supérieurs
- Professions intermédiaires
- Employés
- Ouvriers
- Retraités
- Inactifs

A tous

Q7. Au moment de l'infestation, de combien de personnes était constitué votre foyer (y compris vous-même) ? (0,5 UQ)

(Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible

- 1 personne
- 2 personnes
- 3 personnes
- 4 personnes
- 5 personnes
- 6 personnes et plus



A tous

Q8. Au moment de l'infestation, combien y avait-il dans votre foyer... ? (1 UQ) (Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible par item

1. D'enfants de moins de 18 ans
2. De personnes de plus de 65 ans

- *Aucun*
- *Un*
- *Deux*
- *Trois*
- *Quatre et plus*

A tous

Q9. Où habitez-vous au moment de l'infestation ? (1 UQ) (Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible

- / _____ / code postal
- / _____ / commune
- Vous ne souhaitez pas répondre

A tous

Q10. Lors de l'infestation, dans quel type de logement viviez-vous ? (0,5 UQ) (Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible

- Une maison
- Un appartement
- Une chambre dans un logement partagé (colocation, chambre d'hôtel, etc.)
- Autre (préciser)

A tous

Q11. Lors de l'infestation, étiez-vous locataire ou propriétaire de votre logement ? (0,5 UQ) (Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible

- Locataire dans un parc social
- Locataire hors parc social
- Locataire en logement étudiant
- Propriétaire
- Logé à titre gratuit
- Bénéficiaire d'un hébergement social (foyer de jeunes travailleurs, centre d'hébergement et de réinsertion sociale, centre d'hébergement d'urgence, etc.)



A tous

Q12. Et quelle était la surface du logement que vous occupiez au moment de cette infestation ? (0,5 UQ) (Question PREVALENCE)

Merci d'indiquer votre réponse en nombre

- / m²
- Vous ne savez pas

A ceux qui répondent « ne savent pas » en Q12

Q12bis. Et de manière plus approximative, au moment de l'infestation, quelle était la superficie de votre logement? (0,5 UQ) (Question PREVALENCE)

Merci d'indiquer votre réponse en nombre

- Moins de 10 m²
- Entre 10 m² et 20 m²
- Entre 21 m² et 40 m²
- Entre 41 m² et 80 m²
- Entre 81 m² et 100 m²
- Plus de 100 m²
- Vous ne savez pas

PARTIE 4 : Les caractéristiques de l'infestation

A tous

Q13. Quand vous l'avez découverte, quelle était l'étendue de l'infestation ? (1 UQ) (Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible

- Elle était strictement limitée au lieu de repos c'est-à-dire au lit ou au canapé/fauteuil
- Elle était limitée au lieu de repos ET commençait à se répandre au sommier, table de chevet, table basse, tapis ...)
- Elle concernait l'ensemble de l'habitation
- Elle s'étendait au-delà de l'habitation (voisins, lieu de travail, amis, famille élargie...)

A tous

Q14. D'après ce que vous en savez, d'où venaient ces punaises de lit ? (1,5 UQ) (Question PREVALENCE)

Plusieurs réponses possibles

1. D'un séjour dans un hôtel
2. D'un séjour dans un autre type de location de vacances (airbnb, camping, etc.)
3. D'une hospitalisation
4. D'une visite ponctuelle ou séjour passé chez un tiers (connaissance, membre de votre famille, etc.)
5. Lors de votre emménagement (le logement était déjà infesté à l'arrivée)
6. Par un voisin touché
7. En achetant du mobilier d'occasion ou de la récupération (seconde main) que vous avez ramené chez vous
8. Vous ne savez pas
9. Autre (préciser)



PARTIE 5 : Réactions face à l'infestation

A tous

Q15. Comment vous y êtes-vous pris pour vous débarrasser des punaises de lit ? (1 UQ)

Plusieurs réponses possibles

1. Vous avez décidé de vous en occuper vous-même
2. Vous avez fait appel à un (ou des) professionnel (s)
3. Vous n'avez rien fait de particulier [réponse exclusive]

A ceux qui ont décidé de s'en occuper seul (Q15=1)

Q16. Et concrètement qu'avez-vous fait pour vous débarrasser des punaises de lit ? (2 UQ)

Plusieurs réponses possibles

Vous avez...

- *Oui*
- *Non*

1. Rangé/nettoyé votre maison (aspiration, brossage...)
2. Rénové votre maison (comblement des fissures...)
3. Isolé vos matelas/sommiers (housses étanches)
4. Procédé à un traitement à la vapeur
5. Lavé votre linge (en machine ou à sec)
6. Congelé votre linge/vos objets
7. Utilisé des insecticides
8. Utilisé de la terre de diatomée
9. Jeté les affaires infestées (meubles, matelas, vêtements...)
10. Déménagé
11. Autre (préciser)

A ceux qui ont fait appel à un professionnel (Q15=2)

Q17. A quels types de services professionnels avez-vous fait appel pour vous débarrasser des punaises de lit ? (1 UQ)

Plusieurs réponses possibles

1. Détection canine (chien renifleur)
2. Rangement/nettoyage de la maison (aspiration, brossage, etc.)
3. Traitement insecticide
4. Traitement par la chaleur
5. Traitement par le froid
6. Traitement du linge
7. Autre (préciser)



A tous

Q18. En combien de temps avez-vous réussi à vous débarrasser des punaises ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

1. Moins d'un mois
2. 1 à 2 mois
3. 2 à 3 mois
4. 3 à 6 mois
5. 6 mois à 1 an
6. Plus d'un an
7. Vous ne vous en êtes toujours pas débarrassé(e)
8. Vous ne savez pas

A ceux qui disent ne pas encore s'être débarrassé des punaises de lit

Q19. Plus précisément, à quelle date a débuté cette infestation ? (0,5 UQ)

Merci d'indiquer votre réponse en mois et en année

- Mois :
- Année :
- Vous ne savez plus (exclusif)

A ceux qui ont mis en place des solutions pour se débarrasser des punaises de lit (1,2 en Q15)

Q20. Et toujours lors de votre dernière infestation, avez-vous dû prendre du temps sur votre temps de travail pour vous consacrer à cette lutte contre les punaises de lit ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

1. Oui, vous avez pris du temps sur votre temps de travail
2. Non, vous avez géré la situation sur votre temps libre
3. Vous ne travaillez pas à ce moment là

A ceux qui ont pris du temps sur leur temps de travail (Q20=1)

Q21. Approximativement, combien de temps de travail avez-vous manqué pour vous consacrer à la lutte contre les punaises au total pour la dernière infestation (prise de congés) (1 UQ)

Une seule réponse possible

1. Moins d'une demi-journée
2. Une demi-journée
3. Une journée
4. Entre une journée et deux jours
5. Plus de deux jours
6. Vous ne savez pas



A ceux qui ont pris du temps en dehors de leur travail (Q20=2,3)

Q22. Et approximativement, combien de temps avez-vous consacré à la lutte contre les punaises sur votre temps libre (c'est-à-dire hors du temps de travail) ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

1. Moins d'une demi-journée
2. Une demi-journée
3. Une journée
4. Entre une journée et deux jours
5. Plus de deux jours
6. Vous ne savez pas

PARTIE 6 : Impact budgétaire de l'infestation

A tous

Q23. Avez-vous engagé des frais pour lutter contre cette infestation sur chacun des postes de dépenses suivants ? (2 UQ)

- Oui
- Non
- Vous ne savez plus

1. L'achat de traitements en grande distribution que vous avez utilisé vous-même (traitements chimiques, terre de diatomée, etc.)
2. Des mesures de nettoyage (lavage du linge et de la maison) que vous avez fait vous-même
3. Des travaux de rénovation de votre logement que vous avez faits vous-même
4. L'achat ou la location de matériel spécifique (tente chauffante, appareil à vapeur) que vous avez utilisé vous-même
5. Des traitements professionnels mis en œuvre par une société spécialisée
6. Des services complémentaires du type détection canine, traitement du linge, etc. mis en œuvre par des professionnels
7. Des dommages collatéraux (rachat des meubles jetés, des objets abimés, nuits d'hôtels pendant les traitements etc.)
8. Des frais liés à un déménagement

Pour chaque type de dépense engagées

Q24. Approximativement, combien avez-vous dépensé pour ... ? (1,5 UQ)

Merci de considérer les dépenses avant prise en charge/subvention. Si vous n'êtes pas concerné(e), indiquez 0.

Une seule réponse possible par item – réponse numérique

- / €
- Vous ne savez plus

AFFICHAGE SEULEMENT DES ITEMS SELECTIONNES en Q23



A ceux qui ont engagé des frais par des professionnels (items 5 et 6 en Q23)

Q25. Qui a financé les traitements mis en œuvre par des professionnels dans votre logement ? (1,5 UQ)

Plusieurs réponses possibles

1. Vous avez assumé l'intégralité des coûts seul(e) (ou partagé avec les personnes qui vivent avec vous)
2. Votre propriétaire/votre bailleur a pris les dépenses à sa charge intégralement
3. Vous avez partagé les frais avec votre propriétaire/bailleur
4. Vous avez bénéficié d'une prise en charge partielle par un organisme (CAF, association, ANIL, etc.)
5. Vous avez bénéficié d'une prise en charge totale par un organisme (CAF, association, ANIL, etc.)
6. Autre (préciser)

A ceux qui ont engagé des frais pour des solutions déployées par eux-mêmes (items 1,2,3,4 en Q23)

Q26. Avez-vous bénéficié d'une prise en charge de vos dépenses pour les traitements et démarches que vous avez-mis en œuvre vous-même (sans le recours à un professionnel) (y compris le rachat d'effets personnels ou de relogement) ? (1 UQ)

Plusieurs réponses possibles

1. Non, vous avez assumé l'intégralité des coûts seul(e) (ou partagé avec les personnes qui vivent avec vous)
2. Vous avez bénéficié d'une prise en charge partielle de ces dépenses par un organisme (CAF, association, ANIL, etc.)
3. Vous avez bénéficié d'une prise en charge totale de ces dépenses par un organisme (CAF, association, ANIL, etc.)
4. Autre (préciser)

A ceux qui ont eu le soutien d'un organisme public (items 4,5 en Q25 ou 2,3 en Q26)

Q27. De quel(s) organisme(s) avez-vous reçu une aide pour ces dépenses ? (1 UQ)

Plusieurs réponses possibles

1. Caisses d'allocation familiale (CAF)
2. Association de lutte contre le mal-logement
3. Agence nationale pour l'information sur le logement (ANIL)
4. Fonds de solidarité logement
5. Autre (préciser)
6. Vous ne savez plus



A ceux qui ont engagé des frais (au moins un OUI en Q23)

Q28. Pour financer la mise en œuvre des traitements et les autres dépenses causées par cette infestation, vous diriez que... ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

1. Vous avez réussi à gérer ces dépenses dans votre budget courant
2. Vous avez dû utiliser une partie de votre épargne
3. Vous avez dû emprunter de l'argent (découvert, emprunt à des amis, à la famille, etc.)

PARTIE 7 : Impact de l'infestation sur leur santé/ leur qualité de vie

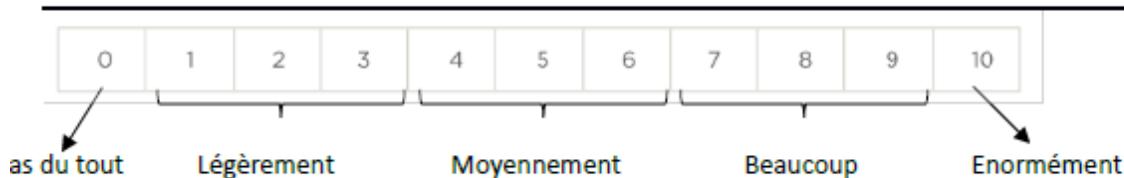
A tous

Q29. Quelle note de 0 à 10 donneriez-vous pour évaluer l'impact, A L'EPOQUE, de l'infestation des punaises de lit sur votre vie dans chacun des domaines suivants... ? (2 UQ)

Une seule réponse possible par item

0 signifie que cette infestation a eu un impact nul et 10 que vous estimez qu'elle a eu l'impact le plus important qui puisse être. Les notes intermédiaires servent à nuancer votre jugement.

(Note allant de 0 à 10)



1. Impact psychologique
2. Impact sur les relations avec les autres membres du foyer
3. Impact sur les relations avec vos amis
4. Impact sur vos sorties/vos loisirs
5. Impact sur votre vie professionnelle ou scolaire
6. Impact sur votre couple/vos relations amoureuses
7. Impact sur votre santé

A tous

Q30. Et plus précisément, pendant cette période, avez-vous... ? (1,5 UQ)

Une seule réponse possible par item

- *Oui*
- *Non*
- *Vous ne souhaitez pas répondre*

1. Développé des réactions cutanées (boutons, démangeaisons, etc.)
2. Éprouvé des difficultés à vous endormir (insomnies, cauchemars, etc.)
3. Éprouvé de l'anxiété, de la nervosité, des tensions
4. Été facilement contrarié(e) ou irritable
5. Été déprimé(e)

***A tous***

Q31. Suite à cette infestation, avez-vous consulté un professionnel de santé ? (1 UQ)

Plusieurs réponses possibles (hors item 7)

Vous avez consulté ...

1. Un pharmacien
2. Un médecin généraliste
3. Un dermatologue
4. Un allergologue
5. Un psychologue
6. Un autre spécialiste (préciser)
7. Vous n'avez consulté aucun professionnel de santé (exclusif)

A ceux qui ont consulté un professionnel de santé

Q32. Pendant cette période de l'infestation, vous a-t-on prescrit un arrêt de travail ? (1 UQ)

Une seule réponse possible

1. Oui, plusieurs
2. Oui, un seul
3. Non

A ceux qui se sont vu prescrire un arrêt de travail

Q33. Quelle a été la durée totale du ou des arrêts de travail que l'on vous a prescrit(s) ? (0,5 UQ)

Merci d'indiquer votre réponse en nombre

- /jours
- Vous ne savez plus
- Vous ne souhaitez pas répondre

A tous

Q34. Durant cette infestation, en avez-vous parlé autour de vous (à quelqu'un d'autre qu'aux professionnels auxquels vous avez fait appel) ? (1 UQ)

Plusieurs réponses possibles (hors item 1)

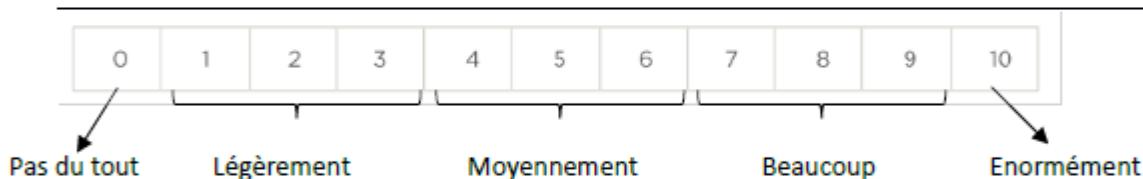
1. Vous n'en avez parlé à personne
2. Vous en avez parlé à vos proches (famille, amis)
3. Vous en avez parlé au-delà de votre cercle proche (collègues, connaissances, etc.)

**A tous**

Q35. Quelle note de 0 à 10 donneriez-vous pour évaluer l'impact, AUJOURD'HUI, de l'infestation des punaises de lit sur votre vie dans chacun des domaines suivants... ? (1,5 UQ)

Une seule réponse possible par item

0 signifie que cette infestation a eu un impact nul et 10 que vous estimez qu'elle a eu l'impact le plus important qui puisse être. Les notes intermédiaires servent à nuancer votre jugement.



1. Impact psychologique
2. Impact sur vos sorties/vos loisirs
3. Impact sur votre santé
4. Impact sur vos vacances, vos voyages

A tous

Q36. Et plus précisément, vous... ? (1,5 UQ)

Une seule réponse possible

- *Oui, souvent*
- *Oui, parfois*
- *Non, jamais*
- *Vous ne souhaitez pas répondre*

1. Eprouvez toujours des difficultés à vous endormir (insomnie, cauchemars, etc.)
2. Eprouvez toujours de l'anxiété, de la nervosité, des tensions
3. Etes-vous vigilant(e) quand vous êtes à l'extérieur de chez vous



PARTIE 8 : renseignements signalétiques

A tous

RS5. Pour finir, quel est votre niveau de diplôme le plus élevé ? (1 UQ)

(Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible

- École Élémentaire
- Collège (BREVET)
- CAP, BEP
- Baccalauréat
- Bac + 2 (BTS, DEUG, DUT)
- Bac +3/+4 (Licence, Maîtrise, Master 1)
- Bac +5 et plus (Grandes Écoles, DESS, DEA, Doctorat, Master 2)

A tous

RS6. Quel est le revenu annuel net de votre foyer après déduction des impôts sur le revenu?

[Veuillez considérer toutes vos sources de revenus: salaires, bourses, prestations
retraite et sécurité sociale, dividendes, revenus immobiliers, pensions alimentaires etc.]

(1 UQ) (Question PREVALENCE)

Une seule réponse possible

- Entre 0 € et 6000 €
- De 6001 € à 9000 €
- De 9001 € à 12000 €
- De 12001 € à 15000 €
- De 15001 € à 18000 €
- De 18001 € à 21000 €
- De 21001 € à 24000 €
- De 24001 € à 30000 €
- De 30001 € à 36000 €
- De 36001 € à 48000 €
- De 48001 € à 60000 €
- De 60001 € à 120000 €
- 120001 € et plus
- Je préfère ne pas répondre

Annexe 4 : Ampleur et prise en charge de la problématique des punaises de lit au sein du parc social en France

Cette annexe correspond à la note d'analyse des résultats de l'enquête menée par le GT auprès de l'Union Sociale pour l'Habitat (USH)

[Cliquer ICI pour y accéder](#)

Annexe 5 : Statistiques descriptives - Données issues de la 1ère phase d'enquête

Variables	Nombre d'observations	Moyenne	Ecart-type
Infestation au cours des cinq dernières années	2000		
Une fois		0,0722	0,259
Plusieurs fois		0,0404	0,197
Jamais		0,887	0,316
Infestation avant 2017	2000		
Une fois		0,058	0,276
Plusieurs fois		0,023	0,153
Jamais		0,917	0,236
Genre	2000		
Femme		0,524	0,500
Homme		0,476	0,500
Age	2000	48,722	17,119
Age par catégories	2000		
Moins de 24 ans		0,104	0,305
25-34 ans		0,157	0,364
35-49 ans		0,246	0,431
50-64 ans		0,250	0,433
65 ans et plus		0,244	0,429
Niveau de diplôme*	2000		
Ecole primaire, Brevet (collège), CAP, BEP		0,270	0,444
Baccalauréat		0,222	0,416
Diplôme de l'enseignement supérieur		0,509	0,500
Statut professionnel	2000		
Salarié(e) à plein temps		0,450	0,498
Salarié(e) à temps partiel		0,061	0,239
Travailleur(se) indépendant(e)		0,041	0,199
En recherche d'emploi		0,050	0,500
En incapacité de travail		0,038	0,192
Homme/femme au foyer		0,048	0,214
Retraité(e)		0,277	0,448
Etudiant/élève		0,033	0,179
Nombre de personnes au sein du ménage	2000		
Une		0,205	0,403
Deux personnes		0,399	0,491
Trois personnes		0,185	0,390
Quatre personnes		0,143	0,345
Cinq personnes		0,047	0,203
6 personnes et plus		0,0195	0,134
Nombre de personnes mineures au sein du ménage	2000		
Aucune		0,694	0,461
Un mineur		0,163	0,369

Variables	Nombre d'observations	Moyenne	Ecart-type
Deux mineurs		0,106	0,308
Trois mineurs		0,027	0,162
Quatre mineurs ou plus		0,010	0,100
Nombre de personnes de plus de 65 ans au sein du ménage	2000		
Aucun		0,671	0,470
Un		0,159	0,365
Deux		0,163	0,369
Trois		0,006	0,074
Quatre ou plus		0,002	0,044
Revenu net annuel du ménage	1816		
0 à 12 000 euros		0,115	0,319
12 001 à 15 000 euros		0,056	0,229
15 001 à 18 000 euros		0,051	0,221
18 001 à 21 000 euros		0,093	0,290
21 001 à 24 000 euros		0,080	0,271
24 001 à 30 000 euros		0,144	0,351
30 001 à 36 000 euros		0,139	0,346
36 001 à 48 000 euros		0,159	0,366
48 001 à 60 000 euros		0,107	0,310
60 001 et plus		0,057	0,232
Catégorie socio-professionnelle (CSP)	2000		
Agriculteurs exploitants		0,010	0,010
Professions indépendantes		0,038	0,191
Cadres supérieurs		0,103	0,303
Professions intermédiaires		0,153	0,360
Employés		0,165	0,371
Ouvriers		0,124	0,329
Retraités		0,277	0,448
Inactifs		0,131	0,337
Type de logement	2000		
Maison		0,609	0,488
Appartement		0,380	0,485
Chambre dans un logement partagé		0,009	0,096
Autre		0,002	0,046
Statut d'occupation du logement	2000		
Locataire dans un parc social		0,137	0,344
Locataire hors parc social		0,194	0,396
Propriétaire		0,593	0,491
Hébergement à titre gratuit		0,058	0,234
Logement étudiant		0,012	0,108
Hébergement social		0,005	0,073
Surface de l'habitation *	1 696	96,636	46,213
Région de résidence	2000		
Ile de France		0,180	0,384
Centre-Val-de-Loire		0,038	0,191
Bourgogne-Franche-Comté		0,042	0,201

Variables	Nombre d'observations	Moyenne	Ecart-type
Normandie		0,050	0,218
Hauts-de-France		0,089	0,284
Grand Est		0,084	0,278
Pays de la Loire		0,056	0,230
Bretagne		0,050	0,218
Nouvelle-Aquitaine		0,092	0,289
Occitanie		0,090	0,286
Auvergne-Rhône-Alpes		0,119	0,323
PACA et Corse		0,083	0,276
DROM		0,028	0,164
Bénéficiaires de services à domicile*	2000		
Oui		0,099	0,298
Non		0,893	0,309
Non réponse		0,008	0,090

Annexe 6 : Estimation des facteurs d'inflation de la variance

Variable	Facteur d'inflation de la variance (FIV)	1/FIV
Genre		
Femme	1,08	0,93
Nombre de personnes mineures au sein du ménage		
Un	1,32	0,76
Deux	1,39	0,72
Trois	1,12	0,90
Quatre ou plus	1,05	0,95
Nombre de personnes de plus de 65 ans au sein du ménage		
Un	1,9	0,53
Deux	2,56	0,39
Trois	1,03	0,97
Quatre ou plus	1,02	0,98
Age du répondant		
Moins de 24 ans	3,22	0,31
25-34 ans	3,75	0,27
35-49 ans	4,9	0,20
50-64 ans	3,7	0,27
Revenu net annuel du ménage		
0 à 12 000 euros	3,12	0,32
12 001 à 15 000 euros	2,08	0,48
15 001 à 18 000 euros	1,94	0,52
18 001 à 21 000 euros	2,59	0,39
21 001 à 24 000 euros	2,35	0,43
24 001 à 30 000 euros	3,21	0,31
30 001 à 36 000 euros	3,11	0,32
36 001 à 48 000 euros	3,33	0,30
48 001 à 60 000 euros	2,64	0,38
Type de logement		
Autre	1,05	0,96
Appartement	1,68	0,59
Chambre dans un logement partagé	1,16	0,86
Surface par personne	1,31	0,76
Statut d'occupation du logement		
Locataire dans un parc social	1,53	0,66
Logement étudiant	1,19	0,84
Hébergement social	1,09	0,91
Locataire hors parc social	1,39	0,72
Logé à titre gratuit	1,23	0,81
Statut professionnel		
Salarié(e) à temps partiel	1,16	0,86
Travaille à mon compte	1,09	0,91

Ne travaille pas, H/F au foyer, retraité	2,4	0,42
En incapacité de travail	1,13	0,88
Étudiant/élève	1,36	0,74
Région de résidence		
Ile de France	2,59	0,39
Centre-Val-de-Loire	1,39	0,72
Bourgogne-Franche-Comté	1,44	0,69
Normandie	1,5	0,67
Hauts-de-France	1,86	0,54
Grand Est	1,8	0,56
Pays de la Loire	1,52	0,66
Bretagne	1,49	0,67
Nouvelle-Aquitaine	1,86	0,54
Auvergne-Rhône-Alpes	2,07	0,48
PACA et Corse	1,86	0,54
Auvergne-Rhône-Alpes	1,28	0,78
Infestation avant 2017	1,2	0,84
FIV moyen	1,90	

Annexe 7 : Test de robustesse relatif à l'effet de la variable du revenu annuel net du ménage

Etape 1 : Estimation de la forme réduite du modèle

	Coef.	Std. Err.	t	P>t	Intervalle de confiance à 95 %
Femme	-0,404	0,199	-2,040	0,042	-0,794 -0,015
Nombre de personnes mineures au sein du ménage					
Un	0,190	0,271	0,700	0,482	-0,341 0,721
Deux	0,261	0,364	0,720	0,473	-0,453 0,976
Trois	0,758	0,431	1,760	0,079	-0,088 1,604
Quatre ou plus	1,130	0,666	1,700	0,090	-0,177 2,437
Nombre de personnes de plus de 65 ans au sein du ménage					
Un	0,207	0,315	0,660	0,511	-0,411 0,825
Deux	-0,255	0,524	-0,490	0,627	-1,281 0,772
Trois	-0,047	1,664	-0,030	0,977	-3,311 3,217
Quatre ou plus	0,000	(empty)			
Âge du répondant					
Moins de 24 ans	2,051	0,570	3,600	0,000	0,934 3,169
Entre 25 et 34 ans	1,748	0,531	3,290	0,001	0,706 2,790
Entre 35 et 49 ans	1,191	0,547	2,180	0,030	0,118 2,263
Entre 50 et 64 ans	0,453	0,553	0,820	0,413	-0,632 1,538
65 ans et plus	0,000	(omitted)			
Revenu net annuel du ménage					
1^{er} décile : 0 à 12 000 euros	0,205	0,457	0,450	0,653	-0,691 1,101
2^{ème} décile : 12 001 à 15 000 €	-0,381	0,536	-0,710	0,477	-1,433 0,670
3^{ème} décile : 15 001 à 18 000 €	-0,153	0,530	-0,290	0,773	-1,193 0,887
4^{ème} décile : 18 001 à 21 000 €	-0,395	0,551	-0,720	0,474	-1,476 0,687
5^{ème} décile : 21 001 à 24 000 €	-0,792	0,664	-1,190	0,233	-2,094 0,510
6^{ème} décile : 24 001 à 30 000 €	-0,172	0,449	-0,380	0,701	-1,052 0,708
7^{ème} décile : 30 001 à 36 000 €	-0,535	0,454	-1,180	0,239	-1,427 0,356
8^{ème} décile : 36 001 à 48 000 €	-0,241	0,470	-0,510	0,608	-1,161 0,680
9^{ème} décile : 48 001 à 60 000 €	-0,230	0,486	-0,470	0,636	-1,183 0,722
Région de résidence					
Ile de France	1,410	0,535	2,640	0,008	0,361 2,459
Centre-Val de Loire	0,480	0,776	0,620	0,536	-1,041 2,002
Bourgogne- Franche- Comté	0,479	0,647	0,740	0,460	-0,791 1,748
Normandie	0,741	0,628	1,180	0,239	-0,492 1,974
Hauts-de-France	0,820	0,551	1,490	0,136	-0,259 1,900
Grand Est	0,186	0,631	0,290	0,768	-1,053 1,424
Pays de la Loire	0,357	0,713	0,500	0,617	-1,041 1,754
Bretagne	0,002	0,618	0,000	0,998	-1,210 1,213
Nouvelle-Aquitaine	1,106	0,639	1,730	0,084	-0,148 2,360
Auvergne-Rhône-Alpes	0,405	0,590	0,690	0,492	-0,752 1,562

PACA + Corse	1,204	0,622	1,930	0,053	-0,016	2,423
DROM	-0,719	1,009	-0,710	0,476	-2,697	1,259
Le fait d'être impacté avant 2017	3,333	0,242	13,770	0,000	2,858	3,808
Constante	-4,371	0,777	-5,630	0,000	-5,895	-2,847

Etape 2 : Ajout de la variable « surface disponible par personne »

	Coef.	Std. Err.	t	P>t	Intervalle de confiance à 95 %
Femme	-0,319	0,210	-1,520	0,129	-0,732 0,093
Nombre de personnes mineures au sein du ménage					
Un	0,366	0,293	1,250	0,211	-0,208 0,940
Deux	0,604	0,387	1,560	0,118	-0,154 1,363
Trois	1,018	0,445	2,290	0,022	0,145 1,891
Quatre et plus	1,393	0,577	2,410	0,016	0,260 2,525
Nombre de personnes de plus de 65 ans au sein du ménage					
Un	0,247	0,342	0,720	0,471	-0,424 0,918
Deux	-0,184	0,516	-0,360	0,721	-1,195 0,827
Trois	0,171	1,318	0,130	0,897	-2,414 2,755
Quatre ou plus	0,000	(empty)			
Âge du répondant					
Moins de 24 ans	2,350	0,582	4,040	0,000	1,209 3,491
Entre 25 et 34 ans	2,251	0,544	4,140	0,000	1,184 3,317
Entre 35 et 49 ans	1,550	0,557	2,780	0,005	0,459 2,642
Entre 50 et 64 ans	0,643	0,560	1,150	0,251	-0,455 1,742
65 ans et plus	0,000	(omitted)			
Revenu net annuel du ménage					
1^{er} décile : 0 à 12 000 euros	0,307	0,464	0,660	0,509	-0,604 1,218
2^{ème} décile : 12 001 à 15 000 €	-0,386	0,568	-0,680	0,497	-1,500 0,728
3^{ème} décile : 15 001 à 18 000 €	-0,154	0,538	-0,290	0,774	-1,209 0,901
4^{ème} décile : 18 001 à 21 000 €	-0,421	0,552	-0,760	0,446	-1,504 0,662
5^{ème} décile : 21 001 à 24 000 €	-0,910	0,649	-1,400	0,161	-2,184 0,363
6^{ème} décile : 24 001 à 30 000 €	-0,094	0,450	-0,210	0,835	-0,976 0,789
7^{ème} décile : 30 001 à 36 000 €	-0,447	0,453	-0,990	0,324	-1,336 0,442
8^{ème} décile : 36 001 à 48 000 €	-0,172	0,472	-0,360	0,717	-1,098 0,755
9^{ème} décile : 48 001 à 60 000 €	-0,295	0,493	-0,600	0,550	-1,262 0,672
Surface par personne	0,021	0,004	5,800	0,000	0,014 0,028
Région de résidence					
Ile de France	1,596	0,531	3,010	0,003	0,555 2,636
Centre-Val de Loire	0,357	0,762	0,470	0,640	-1,137 1,851
Bourgogne- Franche- Comté	0,618	0,631	0,980	0,327	-0,619 1,856
Normandie	0,615	0,696	0,880	0,377	-0,750 1,980
Hauts-de-France	0,765	0,548	1,400	0,163	-0,309 1,840
Grand Est	0,265	0,629	0,420	0,674	-0,968 1,498
Pays de la Loire	0,421	0,735	0,570	0,567	-1,021 1,863

Bretagne	0,038	0,629	0,060	0,952	-1,197	1,272
Nouvelle-Aquitaine	1,228	0,658	1,870	0,062	-0,063	2,520
Auvergne-Rhône-Alpes	0,568	0,574	0,990	0,322	-0,558	1,694
PACA + Corse	1,467	0,612	2,390	0,017	0,266	2,668
DROM	-0,486	0,985	-0,490	0,622	-2,418	1,446
Le fait d'être impacté avant 2017	3,354	0,257	13,050	0,000	2,850	3,858
Constante	-6,048	0,829	-7,300	0,000	-7,673	-4,423

Etape 3 : Ajout de la variable « type de logement »

A l'ajout de cette variable, on observe que le coefficient associé à la catégorie de revenu « 5^{ème} décile : 21 001€ à 24 000€ » devient significativement différent de zéro. On observe également que les coefficients associés au fait d'avoir un ou deux mineurs au sein du ménage deviennent également significativement différents de zéro.

	Coef.	Std. Err.	t	P>t	Intervalle de confiance à 95 %
Femme	-0,351	0,214	-1,640	0,102	-0,771 0,069
Nombre de personnes mineures au sein du ménage					
Un	0,552	0,297	1,860	0,063	-0,031 1,136
Deux	0,838	0,388	2,160	0,031	0,077 1,599
Trois	1,433	0,438	3,270	0,001	0,573 2,292
Quatre et plus	1,370	0,581	2,360	0,019	0,230 2,510
Nombre de personnes de plus de 65 ans au sein du ménage					
Un	0,372	0,351	1,060	0,289	-0,316 1,060
Deux	-0,004	0,522	-0,010	0,993	-1,027 1,019
Trois	0,684	1,430	0,480	0,632	-2,120 3,488
Quatre ou plus	0,000	(empty)			
Âge du répondant					
Moins de 24 ans	2,308	0,601	3,840	0,000	1,129 3,487
Entre 25 et 34 ans	2,286	0,571	4,000	0,000	1,165 3,406
Entre 35 et 49 ans	1,634	0,588	2,780	0,006	0,481 2,787
Entre 50 et 64 ans	0,750	0,583	1,290	0,198	-0,393 1,893
65 ans et plus	0,000	(omitted)			
Revenu net annuel du ménage					
1^{er} décile : 0 à 12 000 euros	0,002	0,480	0,000	0,997	-0,939 0,942
2^{ème} décile : 12 001 à 15 000 €	-0,738	0,570	-1,290	0,196	-1,857 0,381
3^{ème} décile : 15 001 à 18 000 €	-0,409	0,546	-0,750	0,453	-1,480 0,661
4^{ème} décile : 18 001 à 21 000 €	-0,674	0,571	-1,180	0,238	-1,795 0,447
5^{ème} décile : 21 001 à 24 000 €	-1,341	0,705	-1,900	0,057	-2,724 0,042
6^{ème} décile : 24 001 à 30 000 €	-0,222	0,449	-0,490	0,621	-1,102 0,658
7^{ème} décile : 30 001 à 36 000 €	-0,498	0,450	-1,110	0,269	-1,381 0,385
8^{ème} décile : 36 001 à 48 000 €	-0,274	0,471	-0,580	0,561	-1,196 0,649
9^{ème} décile : 48 001 à 60 000 €	-0,299	0,492	-0,610	0,543	-1,263 0,665

Type de logement						
Autre	0,000	(omitted)				
Un appartement	1,009	0,259	3,890	0,000	0,500	1,517
Chambre dans un logement partagé	2,341	0,945	2,480	0,013	0,488	4,194
Surface par personne	0,026	0,004	6,330	0,000	0,018	0,034
Région de résidence						
Ile de France	1,413	0,589	2,400	0,017	0,257	2,568
Centre-Val de Loire	0,475	0,828	0,570	0,566	-1,148	2,098
Bourgogne- Franche- Comté	0,765	0,705	1,090	0,278	-0,617	2,147
Normandie	0,782	0,773	1,010	0,311	-0,733	2,298
Hauts-de-France	0,982	0,614	1,600	0,110	-0,222	2,186
Grand Est	0,321	0,663	0,480	0,629	-0,980	1,621
Pays de la Loire	0,687	0,777	0,880	0,377	-0,837	2,211
Bretagne	-0,037	0,683	-0,050	0,956	-1,378	1,303
Nouvelle-Aquitaine	1,362	0,705	1,930	0,053	-0,020	2,744
Auvergne-Rhône-Alpes	0,647	0,628	1,030	0,303	-0,584	1,878
PACA + Corse	1,334	0,653	2,040	0,041	0,052	2,615
DROM	-0,466	1,059	-0,440	0,660	-2,542	1,610
Le fait d'être impacté avant 2017	3,351	0,268	12,510	0,000	2,825	3,876
Constante	-6,831	0,916	-7,460	0,000	-8,628	-5,034

Etape 4 : Ajout de la variable « statut d'occupation du logement »

A l'ajout de cette variable, on observe que le coefficient associé à la catégorie de revenu « 2ème décile : 12 001€ à 15 000€ » devient significativement différent de zéro.

	Coef.	Std. Err.	t	P>t	Intervalle de confiance à 95 %
Femme	-0,292	0,218	-1,340	0,181	-0,719 0,135
Nombre de personnes mineures au sein du ménage					
Un	0,683	0,306	2,230	0,026	0,083 1,284
Deux	0,901	0,390	2,310	0,021	0,136 1,667
Trois	1,553	0,463	3,350	0,001	0,644 2,461
Quatre et plus	1,164	0,554	2,100	0,036	0,078 2,250
Nombre de personnes de plus de 65 ans au sein du ménage					
Un	0,305	0,357	0,850	0,393	-0,396 1,006
Deux	-0,101	0,543	-0,190	0,853	-1,165 0,964
Trois	0,848	1,475	0,570	0,565	-2,044 3,740
Quatre ou plus	0,000	(empty)			
Âge du répondant					
Moins de 24 ans	1,966	0,627	3,140	0,002	0,736 3,195
Entre 25 et 34 ans	2,016	0,594	3,390	0,001	0,851 3,181
Entre 35 et 49 ans	1,423	0,603	2,360	0,018	0,240 2,605
Entre 50 et 64 ans	0,592	0,592	1,000	0,318	-0,569 1,753
65 ans et plus	0,000	(omitted)			
Revenu net annuel du ménage					

1^{er} décile : 0 à 12 000 euros	-0,290	0,496	-0,590	0,558	-1,262	0,682
2^{ème} décile : 12 001 à 15 000 €	-0,997	0,584	-1,710	0,088	-2,142	0,148
3^{ème} décile : 15 001 à 18 000 €	-0,631	0,544	-1,160	0,247	-1,699	0,437
4^{ème} décile : 18 001 à 21 000 €	-0,912	0,582	-1,570	0,118	-2,054	0,230
5^{ème} décile : 21 001 à 24 000 €	-1,538	0,720	-2,140	0,033	-2,950	-0,125
6^{ème} décile : 24 001 à 30 000 €	-0,330	0,457	-0,720	0,470	-1,227	0,567
7^{ème} décile : 30 001 à 36 000 €	-0,583	0,450	-1,290	0,196	-1,466	0,301
8^{ème} décile : 36 001 à 48 000 €	-0,329	0,476	-0,690	0,489	-1,263	0,605
9^{ème} décile : 48 001 à 60 000 €	-0,281	0,498	-0,560	0,573	-1,257	0,695
Type de logement						
Autre	0,000	(omitted)				
Un appartement	0,729	0,288	2,530	0,011	0,164	1,294
Chambre dans un logement partagé	1,933	0,913	2,120	0,034	0,143	3,723
Surface par personne	0,028	0,004	6,500	0,000	0,019	0,036
Statut d'occupation du logement						
Locataire dans un parc social	0,961	0,365	2,630	0,009	0,245	1,677
Logement étudiant	1,528	0,675	2,260	0,024	0,205	2,851
Bénéficiaire d'un hébergement social	0,707	0,981	0,720	0,471	-1,217	2,631
Locataire hors parc social	0,527	0,293	1,800	0,073	-0,049	1,102
Logé à titre gratuit	0,582	0,496	1,170	0,242	-0,392	1,555
Région de résidence						
Ile de France	1,431	0,600	2,380	0,017	0,254	2,608
Centre-Val de Loire	0,441	0,828	0,530	0,594	-1,183	2,065
Bourgogne- Franche- Comté	0,703	0,745	0,940	0,346	-0,758	2,163
Normandie	0,609	0,801	0,760	0,447	-0,962	2,180
Hauts-de-France	0,875	0,630	1,390	0,165	-0,360	2,110
Grand Est	0,306	0,682	0,450	0,654	-1,031	1,642
Pays de la Loire	0,649	0,788	0,820	0,410	-0,896	2,194
Bretagne	0,060	0,694	0,090	0,931	-1,302	1,422
Nouvelle-Aquitaine	1,331	0,709	1,880	0,061	-0,059	2,722
Auvergne-Rhône-Alpes	0,689	0,640	1,080	0,282	-0,566	1,944
PACA + Corse	1,409	0,667	2,110	0,035	0,100	2,718
DROM	-0,425	1,033	-0,410	0,681	-2,451	1,602
Le fait d'être impacté avant 2017	3,380	0,275	12,280	0,000	2,841	3,920
Constante	-6,853	0,931	-7,360	0,000	-8,678	-5,027

Etape 5 : Ajout de la variable « statut professionnel »

A l'ajout de cette variable, on observe que le coefficient associé à la catégorie de revenu « 4^{ème} décile : 18 001€ à 21 000€ » devient significativement différent de zéro.

	Coef.	Std. Err.	t	P>t	Intervalle de confiance à 95 %
Femme	-0,292	0,218	-1,340	0,181	-0,719 0,135

Nombre de personnes mineures au sein du ménage						
Un	0,683	0,306	2,230	0,026	0,083	1,284
Deux	0,901	0,390	2,310	0,021	0,136	1,667
Trois	1,553	0,463	3,350	0,001	0,644	2,461
Quatre et plus	1,164	0,554	2,100	0,036	0,078	2,250
Nombre de personnes de plus de 65 ans au sein du ménage						
Un	0,305	0,357	0,850	0,393	-0,396	1,006
Deux	-0,101	0,543	-0,190	0,853	-1,165	0,964
Trois	0,848	1,475	0,570	0,565	-2,044	3,740
Quatre ou plus	0,000	(empty)				
Âge du répondant						
Moins de 24 ans	1,966	0,627	3,140	0,002	0,736	3,195
Entre 25 et 34 ans	2,016	0,594	3,390	0,001	0,851	3,181
Entre 35 et 49 ans	1,423	0,603	2,360	0,018	0,240	2,605
Entre 50 et 64 ans	0,592	0,592	1,000	0,318	-0,569	1,753
65 ans et plus	0,000	(omitted)				
Revenu net annuel du ménage						
1^{er} décile : 0 à 12 000 euros	-0,290	0,496	-0,590	0,558	-1,262	0,682
2^{ème} décile : 12 001 à 15 000 €	-0,997	0,584	-1,710	0,088	-2,142	0,148
3^{ème} décile : 15 001 à 18 000 €	-0,631	0,544	-1,160	0,247	-1,699	0,437
4^{ème} décile : 18 001 à 21 000 €	-0,912	0,582	-1,570	0,118	-2,054	0,230
5^{ème} décile : 21 001 à 24 000 €	-1,538	0,720	-2,140	0,033	-2,950	-0,125
6^{ème} décile : 24 001 à 30 000 €	-0,330	0,457	-0,720	0,470	-1,227	0,567
7^{ème} décile : 30 001 à 36 000 €	-0,583	0,450	-1,290	0,196	-1,466	0,301
8^{ème} décile : 36 001 à 48 000 €	-0,329	0,476	-0,690	0,489	-1,263	0,605
9^{ème} décile : 48 001 à 60 000 €	-0,281	0,498	-0,560	0,573	-1,257	0,695
Type de logement						
Autre	0,000	(omitted)				
Un appartement	0,729	0,288	2,530	0,011	0,164	1,294
Chambre dans un logement partagé	1,933	0,913	2,120	0,034	0,143	3,723
Surface par personne	0,028	0,004	6,500	0,000	0,019	0,036
Statut d'occupation du logement						
Locataire dans un parc social	0,961	0,365	2,630	0,009	0,245	1,677
Logement étudiant	1,528	0,675	2,260	0,024	0,205	2,851
Bénéficiaire d'un hébergement social	0,707	0,981	0,720	0,471	-1,217	2,631
Locataire hors parc social	0,527	0,293	1,800	0,073	-0,049	1,102
Logé à titre gratuit	0,582	0,496	1,170	0,242	-0,392	1,555
Statut professionnel						
Salarié à temps partiel	0,042	0,487	0,090	0,931	-0,913	0,998
Travaille à mon compte	-0,431	0,461	-0,930	0,351	-1,336	0,474
Ne travaille pas, H/F au foyer, retraité	-0,116	0,410	-0,280	0,778	-0,920	0,689
En incapacité de travail	1,094	0,478	2,290	0,022	0,157	2,031
Etudiant/élève	-0,673	0,602	-1,120	0,264	-1,854	0,509

Région de résidence						
Ile de France	1,396	0,620	2,250	0,024	0,180	2,612
Centre-Val de Loire	0,497	0,817	0,610	0,544	-1,107	2,100
Bourgogne- Franche- Comté	0,699	0,760	0,920	0,358	-0,791	2,189
Normandie	0,532	0,792	0,670	0,502	-1,021	2,085
Hauts-de-France	0,843	0,651	1,300	0,195	-0,433	2,119
Grand Est	0,330	0,700	0,470	0,637	-1,043	1,704
Pays de la Loire	0,735	0,790	0,930	0,353	-0,815	2,285
Bretagne	0,029	0,712	0,040	0,968	-1,368	1,426
Nouvelle-Aquitaine	1,327	0,726	1,830	0,068	-0,097	2,750
Auvergne-Rhône-Alpes	0,689	0,658	1,050	0,295	-0,601	1,980
PACA + Corse	1,344	0,681	1,970	0,049	0,009	2,679
DROM	-0,340	1,029	-0,330	0,741	-2,359	1,679
Le fait d'être impacté avant 2017	3,444	0,281	12,270	0,000	2,894	3,995
Constante	-6,761	1,026	-6,590	0,000	-8,773	-4,748

Annexe 8 : Résultats d'estimation de la modélisation statistique

VARIABLES	Infestation au cours des 5 dernières années (OUI=1)	ODDS-Ratio	Intervalle de confiance à 95 %	Effets marginaux moyens
Constante	-6,761***	0,001	[0,0001 ; 0,009]	/
Genre du répondant				
Femme	-0,298	0,742	[0,480 ; 1,146]	-0,016
Homme	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Nombre de mineurs au sein du ménage				
Aucun	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Un	0,720**	2,055**	[1,122 ; 3,763]	0,040**
Deux	0,931**	2,536**	[1,184 ; 5,433]	0,055**
Trois	1,511***	4,531***	[1,928 ; 10,646]	0,104***
Quatre et plus	1,322**	3,753**	[1,264 ; 11,139]	0,087*
Nombre de personnes âgées de 65 ans et plus au sein du ménage				
Aucun	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Un	0,272	1,313	[0,628 ; 2,746]	0,015
Deux	-0,126	0,881	[0,300 ; 2,586]	-0,006
Trois	0,982	2,669	[0,116 ; 61,558]	0,066
Quatre et plus	-	-	-	-
Âge du répondant				
Moins de 24 ans	1,985***	7,282***	[1,686 ; 31,454]	0,106***
Entre 25 et 34 ans	1,881***	6,559***	[1,590 ; 27,057]	0,100***
Entre 35 et 49 ans	1,292*	3,641	[0,893 ; 14,850]	0,069*
Entre 50 et 64 ans	0,457	1,579	[0,415 ; 6,010]	0,024
65 ans et plus	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Revenu net annuel du ménage				
1 ^{er} décile : 0 à 12 000 euros	-0,370	0,690	[0,250 ; 1,906]	-0,020
2 ^{ème} décile : 12 001 à 15 000 euros	-1,005*	0,366	[0,117 ; 1,148]	-0,054*
3 ^{ème} décile : 15 001 à 18 000 euros	-0,865	0,421	[0,134 ; 1,320]	-0,046
4 ^{ème} décile : 18 001 à 21 000 euros	-1,045*	0,352	[0,109 ; 1,136]	-0,056*

VARIABLES	Infestation au cours des 5 dernières années (OUI=1)	ODDS-Ratio	Intervalle de confiance à 95 %	Effets marginaux moyens
5 ^{ème} décile : 21 001 à 24 000 euros	-1,622**	0,197**	[0,047 ; 0,827]	-0,087**
6 ^{ème} décile : 24 001 à 30 000 euros	-0,360	0,698	[0,279 ; 1,742]	-0,019
7 ^{ème} décile : 30 001 à 36 000 euros	-0,611	0,543	[0,218 ; 1,349]	-0,033
8 ^{ème} décile : 36 001 à 48 000 euros	-0,357	0,7	[0,273 ; 1,791]	-0,019
9 ^{ème} décile : 48 001 à 60 000 euros	-0,324	0,723	[0,265 ; 1,977]	-0,017
10 ^{ème} décile : 60 001 et plus	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Statut professionnel				
Salarié à temps partiel	0,042	1,043	[0,401 ; 2,713]	0,002
Salarié à plein temps	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Travaille à mon compte	-0,431	0,650	[0,263 ; 1,607]	-0,023
Ne travaille pas, H/F au foyer, retraité	-0,116	0,891	[0,399 ; 1,991]	-0,006
En incapacité de travail	1,094**	2,986**	[1,171 ; 7,618]	0,058**
Etudiant/élève	-0,673	0,510	[0,157 ; 1,663]	-0,036
Caractéristiques du logement				
Type de logement				
Un appartement	0,755***	2,128***	[1,218 ; 3,719]	0,040***
Chambre dans un logement partagé	1,742*	5,710	[0,968 ; 33,825]	0,093*
Maison	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Autre	-	-	-	-
Surface				
Surface par personne	0,029***	1,029***	[1,020 ; 1,038]	0,002***
Statut d'occupation du logement				
Locataire dans un parc social	0,969**	2,635**	[1,261 ; 5,506]	0,052**
Logement étudiant	1,828**	6,221**	[1,424 ; 27,190]	0,098**

VARIABLES	Infestation au cours des 5 dernières années (OUI=1)	ODDS-Ratio	Intervalle de confiance à 95 %	Effets marginaux moyens
Bénéficiaire d'un hébergement social	0,788	2,200	[0,317 ; 15,263]	0,042
Propriétaire	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
Locataire hors parc social	0,569*	1,767	[0,981 ; 3,182]	0,030*
Logé à titre gratuit	0,675	1,964	[0,741 ; 5,210]	0,036
Région de résidence				
Ile-de-France	1,396**	4,040**	[1,197 ; 13,631]	0,075**
Centre - Val de Loire	0,497	1,643	[0,331 ; 8,163]	0,027
Bourgogne - Franche-Comté	0,699	2,012	[0,453 ; 8,924]	0,037
Normandie	0,532	1,702	[0,360 ; 8,044]	0,028
Hauts-de-France	0,843	2,323	[0,648 ; 8,320]	0,045
Grand-Est	0,330	1,392	[0,352 ; 5,497]	0,018
Pays de la Loire	0,735	2,086	[0,443 ; 9,829]	0,039
Bretagne	0,029	1,029	[0,255 ; 4,160]	0,002
Auvergne-Rhône-Alpes	0,689	1,993	[0,548 ; 7,242]	0,037
Nouvelle-Aquitaine	1,327*	3,769	[0,908 ; 15,649]	0,071*
Occitanie	Réf.	Réf.	Réf.	Réf.
PACA + Corse	1,344**	3,833**	[1,009 ; 14,568]	0,072**
DROM	-0,340	0,712	[0,095 ; 5,358]	-0,018
Le fait d'être impacté avant 2017	3,444***	31,325***	[18,060 ; 54,332]	0,184***
Observations			1797	

Note : Les astérisques marquent le degré de significativité statistique (niveau de fiabilité) du résultat. Un astérisque (*) indique que le résultat est *significatif* à 10%; deux astérisques (**) indiquent que le résultat est *significatif* à 5% et trois astérisques (***) indiquent que le résultat est *significatif* à 1%.

Annexe 9 : Modes d'action et impacts de différentes classes d'insecticides

Famille de pesticide	Impact général	Action spécifique	Conséquences physiologiques	Toxicité	Persistante environnementale	Groupe de résistance* / classification IRAC	Exemples de substance active (en gras, résistance observée chez <i>C. lectularius</i>)	Usage
Carbamates	Système nerveux	Surexcitation des neurones par blocage irréversible de l'acétylcholine estérase	hyperactivité, hyperexcitabilité, convulsion	<i>Exemple : Carbaryl</i> Mammifères : modérément toxique par la voie orale, légèrement par les voies cutanée et respiratoire. Toxicité à long terme extrêmement élevée. Poissons/daphnies : extrêmement toxique Oiseaux : faiblement toxique Abeilles : très toxique -> homologation réduite en Europe	<i>Exemple : Carbaryl</i> Persistante faible : 1/2 vie dans les sols : 4-17 jours 1/2 vie dans l'eau : 6-30 jours Potentiel de lessivage : modéré	modéré à élevé : 1A	bendiocarb, carbaryl, propoxur, fenobucarb	
Organophosphates	Système nerveux	Surexcitation des neurones par blocage irréversible de l'acétylcholine estérase	hyperactivité, hyperexcitabilité, convulsion	<i>Exemple : Malathion</i> Mammifères : toxicité aiguë faible par les voies orale et cutanée et par inhalation. Toxicité à long terme élevée Poissons/daphnies : extrêmement toxique Oiseaux : faiblement toxique Abeilles : très toxique	<i>Exemple : Malathion</i> Persistante faible : 1/2 vie dans les sols : 4h-2jours 1/2 vie dans l'eau : 8h-55 jours Potentiel de lessivage : faible	élevé : 1B	malathion, diazinon, dichlorvos, pirimiphos-methyl, fenitrothion, chlorpyrifos, neopynamine	homologation réduite en Europe
Phenylpyrazoles	système nerveux	blocage des récepteurs post-synaptiques GABA	hyperactivité, hyperexcitabilité, convulsion	<i>Exemple : Fipronil</i> Mammifères : irritation oculaire, de la sphère ORL et des voies respiratoires, signes neurologiques transitoires. Toxicité à long terme sur la fonction thyroïdienne Poissons/daphnies : extrêmement toxique Oiseaux : extrêmement toxique Abeilles : très toxique	<i>Exemple : fipronil</i> Persistante modérée : 1/2 vie dans les sols : 120 jours 1/2 vie dans l'eau : >30 jours Potentiel de lessivage : faible	2B	fipronil	En France : usage restreint aux animaux de compagnies (pour éliminer poux, puces, acariens)
Pyréthrinoïdes	Système nerveux	Potentiels d'actions non coordonnés du fait de la non fermeture des canaux sodiques de la cellule nerveuse pré-synaptique	tremblements, convulsion, incoordination, salivation	<i>Exemple : Deltamethrin</i> Mammifères : modérément ou peu toxique par voie orale, peu toxique par les autres voies d'exposition, peu irritante. Faible toxicité à long terme. Poissons d'eau douce : très toxique Oiseaux : faiblement toxique Abeilles : très toxique	<i>Exemple : Deltamethrin</i> Persistante faible : 1/2 vie dans les sols : 6-72 jours 1/2 vie dans l'eau : 0.02-4 jours Potentiel de lessivage : faible	modéré : 3A	alpha-cypermethrin, deltamethrin, permethrin, lambda-cyhalothrin, bifenthrin, pyrethrins, beta-cyfluthrin, tetramethrin, phenothrin, beta-cyhalothrin, etofenprox, esfenvalerate, cis-cypermethrin, neopynamine, sumithrin, d-allethrin	
Organochlorés	système nerveux	Ouverture des canaux sodiques des neurones	spasmes, mort rapide	<i>Exemple : DDT</i> Mammifères : toxicité aiguë faible. Toxicité à long terme modérée (cancérogénicité) Poissons/daphnies : extrêmement toxique Oiseaux : faiblement toxique Abeilles : extrêmement toxique	<i>Exemple : DDT</i> Persistante : très élevée 1/2 vie dans les sols : 2-15 ans 1/2 vie dans l'eau : 28-56 jours Potentiel de lessivage : élevé	élevée : 3B	DDT, HCH, gamma-HCH, methoxychlor, dieldrin, aldrin, endrin	Usage interdit en France

Nicotinoïdes, néonicotinoïdes	Système nerveux	Arrêt de l'influx nerveux par blocage irréversible des récepteurs post-synaptiques nicotiniques à l'acetylcholine	tremblements, paralysie	<i>Exemple : Imidacloprid</i> Mammifères : légèrement à modérément毒ique par voie orale et faiblement毒ique par les voies respiratoire et cutanée. Faible toxicité à long terme. Poissons/daphnies/algues vertes : modérément毒ique Oiseaux : modérément毒ique Abeilles : Très毒ique	<i>Exemple : Imidacloprid</i> Persistance élevée : 1/2 vie dans les sols : 157-973 jours 1/2 vie dans l'eau : 4.2-331 jours Potentiel de lessivage : élevé	modéré : 4A	imidacloprid, acetamiprid, thiamethoxam, dinotefuran	
Spinosynes	système nerveux	neurotoxique au niveau d'un site spécifique du récepteur d'acetylcholine et secondairement par blocage du canal chlore du récepteur GABA	paralysie	<i>Exemple : Spinosad</i> Mammifères : faible toxicité aiguë quelle que soit la voie d'exposition, peu ou pas irritant pour la peau et les yeux, pas sensibilisant cutané. Faible toxicité à long terme Poissons ou daphnies: légèrement毒ique Oiseaux : légèrement毒ique Abeilles : extrêmement毒ique	<i>Exemple : Spinosad</i> Persistance modérée : 1/2 vie dans les sols : 24-69 jours 1/2 vie dans l'eau : 1-2 jours Potentiel de lessivage : faible	faible : 5	spinosad	
Avermectines	Système nerveux	Influx nerveux continu par blocage irréversible des récepteurs post-synaptiques GABA	hyperactivité, hyperexcitabilité, convulsion	<i>Exemple : Abamectin</i> Mammifères : très毒ique, à court et long terme Poissons/daphnies : extrêmement毒ique Oiseaux : modérément毒ique Abeilles : très毒ique	<i>Exemple : Abamectin</i> Persistance modérée : 1/2 vie dans les sols : 30 jours 1/2 vie dans l'eau : 2.4 jours Potentiel de lessivage : faible	faible : 6	Ivermectin, selamectin, doramectin, eprinomectin, abamectin	
Pyrroles	respiration cellulaire	Découpeur de la phosphorylation oxydative via la perturbation du gradient de protons	diminution de la production d'énergie	<i>Exemple : Chlорfenapyr</i> Mammifères : toxicité de modérée à élevée par la voie orale, modérément毒ique par inhalation, faiblement毒ique par la peau. Toxicité élevée à long terme. Poissons/daphnies : extrêmement毒ique Oiseaux : extrêmement毒ique Abeilles : très毒ique	<i>Exemple : Chlорfenapyr</i> Persistance élevée : 1/2 vie dans les sols : 239-3670 jours 1/2 vie dans l'eau : 218-418 jours Potentiel de lessivage : élevé	Faible : 13	chlорfenapyr	
Bensoyl-urées	croissance	inhibition de la synthèse de chitine	blocage de la mue	<i>Exemple : Diflubenzuron</i> Mammifères : faible toxicité aiguë quelle que soit la voie d'exposition. Faible toxicité à long terme. Poissons/daphnies : extrêmement毒ique Oiseaux : faiblement毒ique Abeilles : faiblement毒ique	<i>Exemple : Diflubenzuron</i> Persistance : faible 1/2 vie dans les sols : 2-14 jours 1/2 vie dans l'eau : 3 jours Potentiel de lessivage : faible	faible : 15	diflubenzuron, chlorfluazuron, flufénoxuron, hexaflumuron, triflumuron, diacylhydrazines, juvabione	
Pyriproxyfen	croissance	agoniste des récepteurs aux hormones de croissance (hormone juvénile)	mue prématuée incomplète et létale	<i>Exemple : Pyriproxyfen</i> Mammifères : faiblement toxicité quelle que soit la voie d'exposition. Faible toxicité à long terme Poissons/daphnies : toxique Oiseaux : faiblement toxicité Abeilles : faiblement toxicité	<i>Exemple : Pyriproxyfen</i> Persistance : faible 1/2 vie dans les sols : 8 jours 1/2 vie dans l'eau : 1,6 jours Potentiel de lessivage : faible	faible : 7C	Juvabione, mimétiques de l'hormone juvénile, préocènes	
Diacylhydrazines	croissance	agoniste des récepteurs aux hormones de croissance (ecdysone)	mue prématuée incomplète et létale	<i>Exemple : Tebufenoziide</i> Mammifères : faiblement toxicité quelle que soit la voie d'exposition. Faible toxicité à long terme Poissons/daphnies : faiblement toxicité Oiseaux : faiblement toxicité Abeilles : faiblement toxicité	<i>Exemple : Tebufenoziide</i> Persistance : modérée 1/2 vie dans les sols : 32-105 jours 1/2 vie dans l'eau : 100-159 jours Potentiel de lessivage : élevé	faible : 18	Tebufenozide, halofenoziide, methoxyfenoziide, chromafenoziide, JS-118	

Quinolines	respiration cellulaire	perturbation de la chaîne respiratoire (action sur le complexe III dans la chaîne de transport des électrons mitochondriaux)	diminution de la production d'énergie	<p><i>Exemple : Acequinocyl</i> Mammifères : faible toxicité aiguë par voie orale, faible toxicité par voie cutanée, légère toxicité aiguë par inhalation. Faible toxicité à long terme Poissons/daphnies : modérément à extrêmement毒ique Oiseaux : non toxique Abeilles : faiblement toxique</p>	<p><i>Exemple : Acequinocyl</i> Persistance : faible 1/2 vie dans les sols : 2-10 jours 1/2 vie dans l'eau : 1-4 jours Potentiel de lessivage : faible</p>	Très faible : 20B	Acequinocyl	
Kétoénoles	biosynthèse des lipides	impact sur la formation des acides gras et blocage de l'acetyl-Coenzyme A carboxylase	mue incomplète, infertilité	<p><i>Exemple : Spirodiclofène</i> Mammifères : faible toxicité aiguë quelle que soit la voie d'exposition, mais sensibilisant cutané. Toxicité à long terme extrêmement élevée (surréennes, testicules, foie) Poissons/daphnies : faiblement toxique Oiseaux : faiblement toxique Abeilles : faiblement toxique</p>	<p><i>Exemple : Spirodiclofène</i> Persistance : faible 1/2 vie dans les sols : 1-20 jours 1/2 vie dans l'eau : <1 jour Potentiel de lessivage : faible</p>	faible : 23	spirodiclofen, spromesifen, spirotetramat	
Diamide anthranilique	contraction musculaire	inhibition des récepteurs à ryanodine	paralysie	<p><i>Exemple : Chlorantraniliprole</i> Mammifères : faible toxicité aiguë quelle que soit la voie d'exposition. Faible toxicité à long terme Poissons/daphnies : extrêmement toxique Oiseaux : faiblement toxique Abeilles : faiblement toxique</p>	<p><i>Exemple : Chlorantraniliprole</i> Persistance : élevée 1/2 vie dans les sols : 228-924 jours 1/2 vie dans l'eau : 125-231 jours Potentiel de lessivage : élevé</p>	faible : 28	rynatypyr, chlorantraniliprole	

Source : site : <https://www.sagepesticides.qc.ca/>

* Nombre ou lettre attribuée à chaque matière active des produits acaricides, algicides, bactéricides, fongicides, herbicides, insecticides ou rodenticides, selon leur site d'action.

Annexe 10 : Classement des départements par nombre de désinsectiseurs présents dans le département.

Département	Nombre de désinsectiseurs
75	215
33	159
13	158
93	152
6	130
59	119
94	107
31	106
77	104
83	98
69	98
91	93
95	90
76	85
92	79
78	73
38	72
64	72
14	71
971	70
34	64
60	63
972	63
62	62
27	61
30	60
44	60
45	57
42	57
17	55
67	53
35	52
84	52
56	48
57	48
24	45
974	45
63	45
2	44
74	42
51	42
80	42
37	40
54	40
22	39
40	39
49	38
85	37
21	36

Département	Nombre de désinsectiseurs
66	34
68	34
47	33
28	33
89	31
26	31
29	30
50	30
71	29
19	29
72	29
7	29
1	28
25	28
3	27
73	25
973	25
16	25
81	24
11	24
87	24
12	24
10	22
18	22
41	21
82	20
32	19
61	18
53	17
20A	17
20B	17
65	17
15	16
43	16
58	15
39	15
46	14
79	14
86	14
88	13
8	13
9	12
55	12
52	12
36	11
23	10
70	10
4	8
976	7
90	7
5	5
48	3

Annexe 11 : Exemples d'avis Google, consultés le 15/11/2022**4,8** ★★★★★ 73 avis

Les avis n'ont pas été validés. ⓘ

Thèmes qui reviennent souvent

Tous les avis qualité 47 réactivité 42 rapport qualité-prix 36 punaises de lit 31
ponctualité 30 société 18 technicien 12 **traitement 8** professionnalisme 4 réactif 4

5,0 ★★★★★ 21 avis

Les avis n'ont pas été validés. ⓘ

Thèmes qui reviennent souvent

Tous les avis réactivité 14 qualité 13 ponctualité 11 rapport qualité-prix 6

5,0 ★★★★★ 92 avis

Les avis n'ont pas été validés. ⓘ

Thèmes qui reviennent souvent

Tous les avis technicien 17 dératisation 13 problème 12 je 12 travail 11
cafards 8 punaise de lit 7 soir 6 explication 5 confiance 5

4,9 ★★★★★ 10 avis

Les avis n'ont pas été validés. ⓘ

Thèmes qui reviennent souvent

Tous les avis réactivité 5 rapport qualité-prix 4 qualité 4 ponctualité 3

4,3  24 avisLes avis n'ont pas été validés. [i](#)

Thèmes qui reviennent souvent

[Tous les avis](#)

rapport qualité-prix 7

société 3

devis 3

ponctualité 2

réactivité 2

qualité 2

5,0  80 avisLes avis n'ont pas été validés. [i](#)

Thèmes qui reviennent souvent

[Tous les avis](#)

réactivité 58

ponctualité 44

qualité 41

rapport qualité-prix 39

nid 18

frelons 9

réactif 5

téléphone 4

pédagogue 3

jardin 3

4,9  120 avisLes avis n'ont pas été validés. [i](#)

Thèmes qui reviennent souvent

[Tous les avis](#)

ponctualité 62

professionnalisme 17

travail 11

réactif 10

gentillesse 8

sympathique 6

sourire 6

technicien 6

équipe 6

souris 5

4,8  88 avisLes avis n'ont pas été validés. [i](#)

Thèmes qui reviennent souvent

[Tous les avis](#)

réactivité 33

ponctualité 31

technicien 22

punaises de lit 13

nid 12

société 11

professionnalisme 9

devis 8

travail 7

frelons 5

5,0  21 avis

Les avis n'ont pas été validés. [i](#)

Thèmes qui reviennent souvent

[Tous les avis](#)

réactivité 14

qualité 13

ponctualité 11

rapport qualité-prix 6

5,0  50 avis

Les avis n'ont pas été validés. [i](#)

Thèmes qui reviennent souvent

[Tous les avis](#)

réactivité 33

qualité 29

ponctualité 24

rapport qualité-prix 16

professionnalisme 11

traitement 11

doute 3

appartement 3

équipe 3

5,0  58 avis

Les avis n'ont pas été validés. [i](#)

Thèmes qui reviennent souvent

[Tous les avis](#)

réactivité 37

qualité 30

ponctualité 24

rapport qualité-prix 23

appartement 11

traitement 11

pédagogie 8

gentillesse 6

son 5

je 5

Annexe 12: Nombre de professionnels ayant un label Punaise de lit par département

Département	Nombre de professionnels
987	1
973	1
972	2
971	2
201	3
974	3
202	6
15	9
52	9
40	9
46	9
39	10
57	10
88	10
18	10
48	10
55	10
65	10
81	10
9	10
8	11
32	11
3	11
43	11
87	11
47	11
23	11
24	11
63	12
12	12
4	12
5	12
58	12
68	12
16	13
73	13
90	13
21	13
80	13
82	13
51	13
62	13
61	13
70	13
54	13
10	14
89	14
64	14
36	14
26	14

Département	Nombre de professionnels
66	15
71	15
2	15
25	15
22	15
1	15
19	15
86	15
74	16
84	16
37	16
79	16
67	16
41	16
30	17
17	17
7	17
27	18
29	18
56	19
11	19
33	19
14	19
60	19
83	19
28	20
42	20
34	21
85	21
76	21
50	21
72	22
53	22
59	24
31	25
45	25
49	26
35	27
38	28
44	28
13	32
6	32
69	33
95	49
78	51
94	52
93	55
91	55
92	57
77	57
75	71

Annexe 13: présentation de la position divergente pour l'utilisation des insecticides dans la lutte contre les punaises de lit

Contribution de M. Arezki IZRI

Les insecticides (destructeurs ou tueurs d'insectes), appelés également pesticides (destructeurs ou tueurs d'animaux) sont des neurotoxiques qui tuent en agissant sur le système nerveux des insectes, des animaux et de l'homme. Ils dérivent pour beaucoup d'entre eux des gaz de combat, armes redoutables utilisées dès la première guerre mondiale pour exterminer des populations entières.

Dans sa lutte contre les insectes ravageurs, ectoparasites ou vecteurs de maladies, l'homme a utilisé et utilise encore les insecticides, certes à des concentrations très faibles, mais concentrations qui n'empêchent pas la survenue d'effets secondaires néfastes pour l'environnement, la biodiversité et hélas d'empoisonnements mortels d'humains encore trop fréquents. Pour tenter de réglementer leur utilisation, la commercialisation des insecticides requiert théoriquement l'autorisation du département « Produits Biocides » (destructeurs ou tueurs de vie).

En santé publique et dans l'agriculture dès la fin des années 1930, les insecticides ont rendu de très grands services à l'humanité en sauvant des millions de vie humaines et en permettant de nourrir encore plus de monde. Mais leurs inconvénients sont apparus rapidement au grand jour avec des empoisonnements mortels, massifs ou individuels, et avec leurs effets dévastateurs sur la biodiversité.

Dans la lutte contre les punaises de lit, les insecticides ont été utilisés dès leur apparition (DDT en 1939), mais la résistance des punaises de lit est également apparue très rapidement, dès 1947^{1,2}. Depuis les mécanismes de résistances ont été bien documentés et il s'agit principalement, mais pas que, de mutations génétiques modifiant les récepteurs neurologiques des insectes à ces produits et conférant ainsi une résistance génétique transmissible de génération en génération. Aujourd'hui la résistance des punaises aux insecticides est rapportée de très nombreux pays³ contre toutes les familles d'insecticides.

Le service de parasitologie-mycologie de l'hôpital Avicenne (Bobigny) travaille depuis plusieurs années, très concrètement sur ce fléau que représente les infestations par les punaises de lit⁴⁻¹¹. Depuis la fin des années 2000, ce service reçoit des centaines de demandes d'aide pour lutter contre ce parasite. Ces demandes viennent en désespoir de cause après utilisation sans succès de nombreux insecticides et interventions répétées de sociétés de désinsectisation utilisant divers insecticides. Ce problème nous a interpellé et nous avons recueilli au domicile des sujets concernés par ces infestations des centaines de punaises pour évaluer leur sensibilité/résistance aux insecticides les plus utilisés, pyréthrines et carbamates. Nous avons ainsi démontré que les punaises de lit présentent de très hauts taux de résistance aux insecticides, dépassant souvent 90%. Ces études ont fait l'objet de 3 publications scientifiques dans des journaux à comité de lecture¹²⁻¹⁴, donc évaluées et acceptées par la communauté scientifique internationale. Si ces 3 articles sont les seules publications françaises sur le sujet, ils ne font que rejoindre environ 200 autres publications rapportant la résistance des punaises de lit aux différents insecticides ailleurs dans le monde. La résistance des punaises de lit aux insecticides n'est donc pas que française, mais largement répartie dans le monde.

Par ailleurs, il convient de préciser que l'association de différents insecticides auxquels les punaises sont déjà résistantes, ne rend pas ces produits plus sains pour l'animal, l'homme ou l'environnement.

Je suis très heureux et très honoré d'avoir participé au groupe de travail « punaises de lit » de l'ANSES. Je remercie et salut respectueusement les responsables qui m'ont permis de m'exprimer sur ce sujet et ainsi d'attirer l'attention de nos responsables sur ce non-sens qui consiste à encore recommander l'utilisation de produits inefficaces contre les punaises de lit, et dangereux pour l'homme et l'environnement. Il est temps de dire que ces poisons du

système nerveux constituent un moyen de lutte du passé, un moyen devenu obsolète et toujours dangereux pour l'homme, l'animal, la biodiversité et l'environnement. Il est temps de repenser la lutte contre les punaises et de passer à d'autres moyens de lutte. Les punaises ne sont que des insectes que l'on peut détruire par d'autres moyens efficaces et sans danger tels que le froid, la chaleur, le lavage ou le séchage, comme nous l'avons d'ailleurs déjà démontré avec nos travaux publiés dans des journaux scientifiques internationaux à comité de lecture¹⁵⁻¹⁷.

Pour toutes ces raisons, je ne peux pas, au risque de me dédire, souscrire à la recommandation d'utiliser les insecticides pour lutter contre les punaises de lit.

Références

- 1-Johnson M.S., Hill A.J. Partial resistance of a strain of bedbug to DDT residual. *Med. News Lett.* 1948;12:26-28.
- 2-Cwilich R, Mer GG, Meron AV. Bedbugs resistant to gamma-BHC (lindane) in Israel. *Nature*, 1957 Mar 23;179(4560):636-7. doi:10.1038/179636a0.PMID:13418753.
- 3-Dang K, Doggett SL, Veera Singham G, Lee CY. Insecticide resistance and resistance mechanisms in bed bugs, *Cimex* spp. (Hemiptera: Cimicidae). *Parasit Vectors*. 2017 Jun 29;10(1):318.
- 4-Akhoundi M, Chebbah D, Elissa N, Brun S, Jan J, Lacaze I, Izri A. Volatile Organic Coompounds: A Promising Tool for Bed Bug Detection. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Mar 22;20(6):5214. doi: 10.3390/ijerph20065214.PMID: 36982123 Free PMC article. Review.
- 5-Akhoundi M, Raharisoa A, Andrianjafy RL, Chebbah D, Razanakolona LR, Izri A. Morphological and Molecular Identification of *Cimex hemipterus* Fabricius, 1803 (Hemiptera: Cimicidae) and First Report of *C. lectularius* Linnaeus, 1758, in Madagascar. *J Med Entomol*. 2022 Mar 11:tjac022. doi: 10.1093/jme/tjac022. Online ahead of print. PMID: 35274683
- 6-Chebbah D, Elissa N, Sereno D, Hamarsheh O, Marteau A, Jan J, Izri A, Akhoudi M. Bed Bugs (Hemiptera: Cimicidae) Population Diversity and First Record of *Cimex hemipterus* in Paris. *Insects*. 2021 Jun 25;12(7):578. doi: 10.3390/insects12070578. PMID: 34202079 Free PMC article.
- 7-Izri A, Marteau A, Ferreira T, Bruel C, Benainous R, Dhote R, Akhoudi M. Severe anemia due to bed bugs hyperinfestation. *Microb Pathog*. 2020 Dec;149:104564. doi: 10.1016/j.micpath.2020.104564. Epub 2020 Oct 10. PMID: 33045337
- 8-Akhoudi M, Sereno D, Durand R, Mirzaei A, Bruel C, Delaunay P, Marty P, Izri A. Bed Bugs (Hemiptera, Cimicidae): Overview of Classification, Evolution and Dispersion. *Int J Environ Res Public Health*. 2020 Jun 25;17(12):4576. doi: 10.3390/ijerph17124576. PMID: 32630433 Free PMC article. Review.
- 9-Parola P, Izri A. Bedbugs. *N Engl J Med*. 2020 Jun 4;382(23):2230-2237. doi: 10.1056/NEJMcp1905840. PMID: 32492304 Review.
- 10-Akhoudi M, Bruel C, Izri A. Harmful Effects of Bed Bug-Killing Method of Diatomaceous Earth on Human Health. *J Insect Sci*. 2019 Sep 1;19(5):13. doi: 10.1093/jisesa/iez095. PMID: 31606744 Free PMC article.
- 11-Akhoudi M, Kengne P, Cannet A, Brengues C, Berenger JM, Izri A, Marty P, Simard F, Fontenille D, Delaunay P. Spatial genetic structure and restricted gene flow in bed bugs (*Cimex lectularius*) populations in France. *Infect Genet Evol*. 2015 Aug;34:236-43. doi: 10.1016/j.meegid.2015.06.028. Epub 2015 Jun 30. PMID: 26140960
- 12-Durand R, Cannet A, Berdjane Z, Bruel C, Haouchine D, Delaunay P, Izri A. Infestation by pyrethroids resistant bed bugs in the suburb of Paris, France. *Parasite*. 2012 Nov;19(4):381-7.
- 13-Candy K, Akhoudi M, Bruel C, Izri A. Ineffectiveness of Insecticide Bendiocarb Against a *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) Population in Paris, France. *J Med Entomol*. 2018 Oct 25;55(6):1648-1650.
- 14-Akhoudi M, Chebbah D, Sereno D, Marteau A, Jan J, Bruel C, Elissa N, Izri A. Widespread Mutations in Voltage-Gated Sodium Channel Gene of *Cimex lectularius* (Hemiptera: Cimicidae) Populations in Paris. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jan 6;18(2):407.
- 15-Chebbah D, Elissa N, Nicolas P, Vingataramin Y, Marteau A, Jan J, Izri A, Akhoudi M. Rapid control method of bed bugs infestation by freezing. *Travel Med Infect Dis*. 2021 Jul-Aug;42:102065.
- 16-Chebbah D, Elissa N, Nicolas P, Levy V, Vingataramin Y, Bennouna A, Jan J, Izri A, Akhoudi M. Effectiveness of heat treatment in rapid control of bed bugs in environmental conditions resembling their natural habitats. *Int J Environ Health Res*. 2023, in press.
- 17-Bennouna A, Chebbah D, Jan J, Izri A, Akhoudi M. Effectiveness of household laundering and hot drying in control of bed bugs. *Journal of insect science*, soumis.



anses

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex
Tél : 01 42 76 40 40
www.anses.fr — @Anses_fr